LEZIONI

DI FISICA

DI

CARLO MATTEUCCI

DATE

NELL' I. E R. UNIVERSITÁ DI PISA

NAPOLI
PER GAETANO NOBILE LIBRAIO-EDITORE
Via Concezione a Toledo num. 3.
1846

LEZIONI DI FISICA

—

LEZIONE PRIMA

Introduzione. — Quale è il soggetto della Fisica, come è distinto dalla Storia Naturale, dalla Meccanica, dall'Astronomia, dalla Chimica, dalla Fisica Tecnologica. — Cos'è fenomeno, quante e quali sono le forze della Natura; cosa deve intendersi per Legge, per Teoria e Sistema in Fisica.

Nell' intraprendere con voi lo studio della Fisica avrei forse dovuto cominciare dall'esporvi alcune di quelle generalità riguardanti la Scienza che dobbiamo studiare insieme. Conviene però ch' io cominci dal dirvi per quali ragioni ho creduto di dovere omettere una introduzione. Se mi fossi oggi occupato a dimostrarvi quanti vantaggi rende la Fisica nelle sue applicazioni all'industria; quanto ha influito al ben essere materiale della Società; se avessi speso parole in quei luoghi comuni cui si ricorre in proposito delle Macchine a vapore, del Parafulmini, del Telegrafi elettrici, del Cannocchiali ec., di certo non vi avrei ripetuto che quello che mille volte avrete udito, e fors'anche visto. Avrei potuto ancora scegliere a soggetto di questa introduzione il metodo seguito in Fisica per l' investigazione della verità. Questo soggetto, quantunque più importante del primo, sarebbe stato, o troppo conosciuto ed inutile per conseguenza, o troppo oscuro e difficile a chi assiste per la prima volta ad un Corso di Fisica. E di fatti dirvi che è coll' osservazione e coll' esperienza che si acquistano in Fisica le cognizioni, è dirvi quello che è insegnato a ciascuno dalla cotidiana esperienza. Descrivervi poi le modificazioni di questo processo generale nelle varie ricerche, insegnarvi in una parola ad osservare ed esperimentare, era rendersi, lo ripeto, oscuro, e forse inintelligibile. D'altra parte poi avrò mille volte occasione, durante il corso di queste lezioni, e colla scorta del fatto di mostrarvi come il metodo generale possa nei diversi casi applicarsi.

Prima d' entrare in materia, aggiungerò alcune parole per consigliarvi sul metodo che io credo più utile onde approfittare di un corso. Assistervi solamente, è conservare appena la memoria del fatti più maravigliosi, e che tante volte sono quelli che interessano meno alla teoria: sono forse la parte teatrale della scienza. Prendere qualche nota, è fare certamente di più; perchè si serba così memoria delle principali idee e dell'ordine in cui vennero esposte. Ma a volerne cogliere intero frutto d'uopo è, colla scorta di queste note, ricomporre la lezione udita. Allora solo le idee ricevute vi appartengono in proprio. Quanto a me porrò ogni possibile diligenza perchè le lezioni riescano chiare ed importanti, e spero perciò che dal canto vostro non mancheranno e l'attenzione e lo studio che si richieggono. È lo studio per se stesso una vera fatica; ma una fatica ricambiata di quella larga ricompensa, che non è ricevuta da alcun'altra. Lo studio poi delle Scienze fisiche ha sopra quello delle morali e speculative un vantaggio grandissimo. Con questo però non crediate che io voglia intendere, che meno delle fisiche interessino le cognizioni morali: ma dico bene che dove in queste le ricerche sono difficili, complicate e rare volte applicabili con buon successo, in Fisica invece sono presto coronate di qualche risultamento che torna in vantaggio della società. Si aggiunge che le cognizioni di questa scienza entrano tanto negli usi della vita, che ognuno di voi arrossirebbe di esserne affatto ignorante. E chi infatti non sentirebbe oggi vergogna a non sapere in che consiste una macchina a vapore, un parafulmine, una pila di Volta, un microscopio? Non ha l'Italia un-

merose armate, non potenti flotte da potere aspirare a conquiste; ha bensì il campo delle Scienze naturali da correre con non minor gloria: ed ha obbligo di correrlo, posciachè da lei mosse la luce che venne a rischiararle. Galileo e Volta sono le sue più belle vittorie.

Nulla vi è di più difficile del definire una scienza, e specialmente dinanzi a chi sente a parlarne la prima volta. Meglio è perciò dire di che s'occupa questa scienza, dentro quali limiti, e sotto qual punto di vista considera un dato soggetto. La Fisica (lo dice la parola φυσις, *natura*) s'occupa delle proprietà dei corpi, dei cambiamenti che in essi avvengono, delle leggi di questi cambiamenti, delle forze che li determinano. Il quale immenso campo era una volta di dominio di una scienza sola; ma non potrebbe già più esserlo ai nostri giorni, per le troppe cognizioni che si sono aggiunte, e che tutte abbraccia lo studio della Natura. Vi sono nei corpi proprietà caratteristiche che servono a distinguerli l'uno dall'altro, e queste spettano oggi alla Storia Naturale, che in tre altre scienze è divisa, cioè Zoologia, Botanica, e Mineralogia. Le proprietà prese in esame dal Fisico appartengono a tutti i corpi, comprendono l'idea della materia, e sono cinque, cioè: l'Estensione, la Impenetrabilità, la Divisibilità, la Porosità e l'Inerzia. I cambiamenti che avvengono nei corpi non tutti appartengono alla Fisica. Allorchè si considerano cotali cambiamenti indipendentemente dalla varia natura delle forze da cui dipendono, e si guardano queste forze come semplici quantità capaci di diminuzione e di aumento, se ne ha la Meccanica. Se si studiano i cambiamenti nelle grandi masse planetarie, nel gran sistema dell'universo, ne viene l'Astronomia. I fenomeni che si operano fra le ultime parti della materia, che succedono al solo contatto di queste e costituiscono un cambiamento stabile, spettano alla Chimica. Una goccia d'acido solforico che verso dinanzi a voi in questa tintura bleu vegetabile, produce un bel colore rosso. Questo bastone di ceralacca che io confrico con un pezzo di lana, attira i ritagli di carta e tutti i corpi leggieri. Nel primo fatto il cambiamento è permanente, ha luogo al contatto delle particelle della materia, altera le qualità caratteristiche del corpo: è un fenomeno chimico. Nell'altro caso l'attrazione dei corpi leggieri ha luogo in distanza, senza che il corpo cambi apparentemente di proprietà, e basta ch'io tocchi colla mano il bastone di ceralacca perchè sparisca la proprietà acquistata colla confricazione. Questo fenomeno appartiene alla Fisica. Finalmente se si studiano i cambiamenti dei corpi e le forze che li producono solo in vista dell'applicazione che se ne può fare alle arti, ne viene la Fisica Tecnologica. Riassumiamo dunque: la Fisica studia le proprietà generali dei corpi, i cambiamenti tutti che in questi avvengono, quelli esclusi che hanno luogo fra le ultime parti della materia, e che non si operano che al solo contatto di queste parti; studia le leggi di questi fenomeni, e la natura delle forze che li producono nella loro generalità.

Quante e quali sono queste forze, o grandi agenti della Natura? Si riducono oggi in Fisica all'Attrazione, al Calore, all'Elettricità e alla Luce. V'è chi aggiunge la forza vitale, la causa dell'organizzazione. Forse il giorno non è lontano in cui quest'ultima verrà, pei fenomeni *puramente materiali* dell'organismo, rappresentata dagli agenti fisici or ora citati, l'azione dei quali è modificata operando attraverso dell'organismo. Fors'anche il giorno non è lontano in cui le quattro forze Attrazione, Calore, Elettricità e Luce si ridurranno a due sole, di attrazione e di ripulsione, posciachè non cessano mai di moltiplicarsi i fatti che ci mostrano convertirsi l'una forza nell'altra. La natura di queste forze è l'*incognita* della Fisica moderna. Noi la rappresentiamo con una parola presa dagli antichi, e la diciamo Etere, Fluido o corpo imponderabile. Le quali parole verranno così spesso usate nel nostro corso, che è mestieri ch'io tolga per tempo dall'animo vostro una sospensione che potrebbe esservi originata da una specie di assurdo che riscontrasi nell'accennata denominazione. Corpo imponderabile, suona sulle prime corpo che non pesa, corpo che non è corpo. Pesare, per un corpo, è ubbidire all'attrazione della terra; è fare uno sforzo contro gli ostacoli che si oppongono alla sua caduta. Or bene; non v'è impossibilità a concepire un corpo di cui la natura sia indifferente all'attrazione della terra. Non possono forse questi fluidi o corpi imponderabili appartenere ad una proprietà delle parti ultime della materia, e sfuggire all'attrazione terrestre? Per noi ora consistono in un corpo sparso per tutto l'universo contenuto nei corpi e in questi modificato dalla presenza della materia, di cui le parti si respingono incessantemente.

Diciamo infine ciò che è legge, teoria, sistema in Fisica. Il senso comune e l'esperienza ci avvertono che non v'è cambiamento senza un *che*, il quale lo determini, non v'è un effetto senza una causa. La relazione fra un fatto e quello che lo ha preceduto, il rapporto fra la causa e l'effetto, è ciò che noi chiamiamo legge di un fenomeno

Generalizzare queste leggi, riunirle per le comuni analogie è fare una teoria. Abbiamo visto la ceralacca confricata attrarre i corpi leggieri, e scoperta una tale proprietà in tutti i corpi confricati; ma non è questo il solo fenomeno cui dia origine la confricazione, poichè la detta proprietà si diffonde con rapidità incredibile sopra molti corpi, i quali poi in tal caso divengono atti ad emettere scintille. Questi fatti riuniti fra loro formano la teoria dell'Elettricità. Se poi s'immagini una causa comune a questi fenomeni, se a questa causa si attribuiscano proprietà onde spiegarli, si crea un sistema. Basta questo a mostrare come un sistema può esser falso, non mai esser falsa una teoria. Bensì una teoria può essere incompleta, può essere imperfetta, e può contener fatti male osservati e ingiustamente associati. Ogni ipotesi sparirebbe da una teoria quando fossero conosciuti e ben osservati tutti i fatti che considerano. Gli antichi i quali poco e malamente osservavano e niente sperimentavano, ci lasciarono dei sistemi, non già delle teorie. Quando le leggi fisiche sono rappresentate da rapporti numerici, acquistano esse tutto il carattere e la semplicità delle verità matematiche. Si riprenda il bastone di ceralacca, e confricato si avvicini al corpo leggiero. Voi vedete che avvicinato a maggiore o minor distanza è più o meno grande lo sforzo che fa il corpo leggiero per venire a toccarlo. Posso esprimere con numeri queste distanze cioè mettere il bastone di ceralacca a un piede, a un mezzo, a un terzo di piede dal corpo leggiero, e posso trovare coll'esperienza qual'è in questi diversi casi lo sforzo del corpo leggiero per avvicinarsi al bastone. I numeri che rappresentano questo sforzo nei diversi casi, il rapporto fra questi e quelli delle distanze, esprimono una legge fisica nel maggior grado di semplicità.

LEZIONE II.

Proprietà generali. — Estensione e impenetrabilità. — Misure dell' estensione. — Unità di misura. — Verniero. — Vite micrometrica. — Porosità; esperienze che la provano; distinzione fra il volume apparente e il reale. — Divisibilità; esperienze che la provano. — La Chimica non ammette la divisibilità infinita. — Atomi, masse relative degli atomi.

Distinto ciò che veramente è soggetto della Fisica, determinato il punto di vista sotto cui in questa scienza si studiano i corpi, i fenomeni che essi ci presentano, le leggi generali che gli producono, ed esposto quello che si ha da intendere per legge e per teoria fisica, entrerò a dire delle proprietà generali della materia. Delle cinque già nominate nell'antecedente lezione, due appartengono essenzialmente alla materia, della quale non potremo avere idea senza di esse, e sono l'estensione, l'impenetrabilità. L'estensione, considerata in generale è lo spazio infinito che ci circonda; lo spazio occupato da tutti i corpi: ma guardato nel corpo lo spazio è limitato, è quello ch'egli occupa. Spetta alla Geometria lo studio delle proprietà dell'estensione: pel Fisico sono sempre le tre dimensioni riunite, perchè ogni corpo ha volume. Dell'estensione però noi non dobbiamo occuparci che per imparare a misurarla, e la misura che ci basta è quella delle linee rette e degli angoli. Si misurano le prime confrontandole con la unità lineare. Egli è facile intendere che sarebbevi molta incertezza dove questa unità non fosse invariabile e generale. E ad avere appunto questi due caratteri l'Accademia di Francia l'ha desunta da uno dei circoli massimi della terra. Secondo le regole pertanto insegnate dall' Astronomia, a misurare una parte aliquota d'un meridiano terrestre si è divisa quella compresa fra il polo e l'equatore in diecimillioni di parti uguali. La diecimillionesima parte di questa lunghezza è l'unità di misura, oggi generalmente adottata sotto il nome di metro. Il metro poi si divide in dieci parti chiamate decimetri, ciascun decimetro in altre dieci dette centimetri, e ciascun centimetro in dieci millimetri. Per la misura dei volumi pigliasi come unità il *litro* o decimetro cubo, così chiamato dall' unità lineare che gli serve di lato.

Così adunque si è sapientemente provveduto, che mai non possa perdersi nè variarsi l'unità di misura. Ma poichè qualche volta ci bisogna misurare lunghezze minori di un millimetro, si è immaginato uno strumento detto *Verniero* o *Nonio*, col quale si ottiene esattamente sino ad un cinquantesimo di millimetro. Consiste il verniero in due regoli di metallo di eguale lunghezza, uno dei quali è diviso in nove parti, per esempio in nove millimetri, e l'altro in dieci parti uguali. È evidente che ognuna delle divisioni di questo secondo è 9/10 di millimetro, e perciò la differenza fra la prima divisione del primo regolo e la prima del secondo sarà di 1/10 di millimetro, fra le due

prime del primo regolo e le due corrispondenti del secondo sarà di 2/10 di millimetro, e così via discorrendo. Se ora si fa scorrere il secondo regolo a modo che i primi due tratti coincidano, il secondo regolo sarà così avanzato di 1/10 di millimetro; se la coincidenza sarà per i secondi tratti sarà avanzato di 2/10 di millimetro ec. Se invece di nove millimetri si fossero portati 19, 29, 39, 49 ec. millimetri, e se il verniero si fosse diviso in 20, 30, 40, 50 ec. parti uguali s'intende che la misura si potrebbe spingere sino a delle lunghezze di 1/20, 1/30, 1/40, 1/50 di millimetro. Sta il limite pratico in questo istrumento nella larghezza del tratto, per cui i segni del verniero coincidendo con quelli del regolo, non potrebbe distinguersi la frazione di millimetro esistente fra di essi. La frazione di millimetro misurabile non può esser minore della larghezza del tratto, e sta all'abilità dell'artista di estenderla al maggior limite. Mi rammento di aver visto presso M. Laballif 400 divisioni ben distinte nello spazio di un millimetro.

Si adopera anche frequentemente per la misura delle piccole lunghezze, e per dividere in parti eguali, la *vite micrometrica*: istrumento di divisione il più esatto che si conosca. Alla testa di una vite ben fatta si fissa una lastra circolare, di cui la periferia è divisa in un numero più o meno grande di parti uguali. È chiaro che avanzando la vite di un giro intero, anche la lastra circolare avrà fatto l'intero giro. Si costruiscono ora viti delle quali il passo regolare non è che di un millimetro, per cui se si supponga la periferia della lastra divisa in cento o più parti, potranno facilmente misurarsi delle lunghezze di un centesimo e anche meno di millimetro. Uno stile aggiunto alla vite serve a segnare le divisioni.

La misura degli angoli si ha dal numero dei gradi dell'arco di circolo compreso fra le linee che lo formano e descritto dal suo vertice come centro. Il circolo è diviso in 360 parti o gradi, ogni grado in 60 minuti, e ogni minuto in 60 secondi. Si scrivono i gradi con uno zero sopra il numero, i minuti con un accento sopra il numero, ed i secondi con due accenti. Si costruiscono vernieri curvi per la misura delle piccole frazioni di arco.

La seconda proprietà generale della materia, essenziale alla sua esistenza, è l'*impenetrabilità*. Ogni corpo esclude un altro dallo spazio ch'egli occupa. È inutile che lo dimostriamo con esperienze particolari. L'aria stessa contenuta in una bottiglia non permette all'acqua di entrare nel suo posto: una campana piena d'aria rovesciata sopra l'acqua, per quanto fortemente vi sia premuta contro, non cede all'acqua il suo posto. Su questo principio si fonda la campana dei palombai, che serve alla pesca dei coralli nel fondo del mare. Vi sono per altro alcuni fatti che mostrerebbero apparentemente il contrario di ciò che diciamo, cioè la penetrabilità della materia. Sa ognuno che molti, o tutti i corpi possono ridursi a minor volume: vi sono dei liquidi i quali mescolati insieme occupano meno spazio, che non occupano separatamente e sommati. Ma se bene osserviamo questi fatti, ci si disvela invece un'altra proprietà della materia, cioè la *porosità*. In ogni corpo vi sono degl'intervalli o spazi vuoti, che chiamansi *pori*, e non mancano di essere porosi quelli stessi che appaiono i più compatti, o, mi si permetta l'espressione, i più pieni di materia. Un grosso strato di legno è traversato dal mercurio su cui venga esercitata una forte pressione. Vedete questo tubo di vetro chiuso in una parte da un grosso strato di legno concavo all'esterno. Se si riempie di mercurio la concavità, e quindi con una macchina che descriveremo più innanzi si estrae l'aria del tubo, per la forte pressione (e di questa pure parleremo in altro luogo) esercitata contro le esterne pareti del tubo e perciò contro il mercurio, vedesi questo cadere entro il cilindro a guisa di pioggia dopo avere attraversato il legno. Gli accademici del Cimento empirono d'acqua una palla d'oro, ed esercitando una forte pressione contro questo liquido, videro la superficie della palla coprirsi di gocce d'acqua. Questa foglia d'oro come si prepara coll'arte dei battiloro, traversata da un raggio di luce mostra un color verde, che è conseguenza dei pori dell'oro traversati dai raggi. Grosse verghe di ferro coperte di polvere di carbone e fortemente riscaldate si convertono in acciaio, e questo accade perchè le parti di carbone vi penetrano e si combinano al ferro. In somma, tutti i corpi si lasciano comprimere, tutti i corpi diminuiscono di volume con pressioni esteriori: v'è dunque in tutti porosità. Di qui è che nello spazio occupato da un corpo distinguiamo il volume apparente, cioè quello rappresentato dalle esterne dimensioni, dal volume reale o *massa* del corpo. Il rapporto del volume apparente colla massa è ciò che chiamiamo *densità*: l'oro è più denso del legno perchè sotto lo stesso volume apparente è maggiore la massa dell'oro di quella del legno. Vedremo altrove come si possa determinare la densità per tutti i corpi in un modo relativo.

Tutti i corpi si lasciano dividere in parti piccolissime; quindi la *divisibilità* è un' al-

tra proprietà generale della materia. Fra mille esempi che di questa potrei citarvi, ne addurrò alcuni che ve la mostreranno chiaramente. Una bolla di sapone ha $^1/_{100000}$ di millimetro quando presenta una macchia nera, cioè poco prima di scoppiare. Wollaston preparava fili di platino che avevano $^1/_{1200}$ di millimetro di diametro: un fascio di 140 di questi fili formerebbero appena la grossezza di un fil di seta. E sarebbe veramente curioso, quando questi fili avessero la necessaria consistenza, ferirci con essi, chè forse accaderebbe senza patire dolore di sorta. Un grano d'oro si divide colla filiera in 20,000,000 di parti visibilissime. Le più curiose prove poi della divisibilità l'abbiamo nei corpi organici. Il nostro Malpighi infatti scoprì il primo che il sangue si componeva di globetti natanti nel siero. Questi globetti sferici nel sangue dell'uomo, ovali in quello degli uccelli e dei pesci, non hanno più di 1/150 di millimetro di diametro, ed hanno parti ben distinte, una veste di sostanza colorante, un nucleo di fibrina, sono in una parola di un'organizzazione complicata. Ehremberg, non è molto, scoprì nei piccoli animaletti, detti infusori, delle parti ben distinte, un canale digerente, degli organi secretori, dei vasi circolatori, e questi animaletti non son più grandi dei globetti di sangue. Ma da nulla è maggiormente dimostrata la divisibilità della materia quanto dalle sostanze odorose. E chi sa infatti immaginare la piccolezza delle particelle d'assa fetida o di muschio onde rimane infetta una gran massa d'aria, senza che il corpo da cui emanano scemi sensibilmente di peso? Con tutto ciò dovrà dirsi la divisibilità estendibile all'infinito? La Chimica risponde che no, posciachè le combinazioni chimiche si operano fra parti piccolissime, anche più piccole di quelle di cui abbiam dato l'esempio, ma indivisibili ulteriormente; e la costanza delle proprietà chimiche dei corpi composti ci costringe ad ammettere che le parti *costituenti* hanno dimensioni costanti, non variano cioè di grossezza e di forma. Queste ultime parti dei corpi fra le quali si operano le combinazioni chimiche, queste impenetrabilità indivisibili, chiamansi *atomi*, che riuniti in gruppi chiamiamo particelle o agglomerazioni di atomi. Forse ignoreremo per sempre le dimensioni assolute degli atomi: ma egli è indubitato che quando si giungesse a stabilire che in un determinato volume di certi corpi v'è lo stesso numero di molecole, potremmo stabilire le relative masse di questi atomi. Così, partendo dall'ipotesi che nei corpi gassosi vi sia per tutti, sotto lo stesso volume, un egual numero di molecole, si trova che le masse di due di questi corpi gassosi (ossigene e idrogene) stanno fra loro come 16 ad 1. Faraday trovò infatti che nelle campane di vetro v'erano fenditure per le quali esciva l'idrogene, mentre l'ossigene era ritenuto.

LEZIONE III.

Inerzia. — Forza. — Moto. — Velocità. — Relazione fra le forze, le velocità e le masse. Quantità di movimento.

Ci rimane ancora a studiare un'altra proprietà generale dei corpi, l'inerzia. Lo studio di questa proprietà è importante, è fondamentale per la dottrina del moto, e ci servirà pei principi di Meccanica che esporremo. Tutto ci prova che non v'è per un corpo cambiamento di posizione nello spazio, cioè non v'è moto, senza l'aggiunta di una forza. Sia che questa forza preesista nel corpo e ne venga distrutto l'effetto; sia che vi si aggiunga, un corpo non lascia mai lo stato di quiete senza una causa che lo costringa a muoversi. Un corpo sospeso ad un filo si mette in moto, e cade allorchè il filo è tagliato; in questo caso la forza preesisteva, e dal filo era distrutto l'effetto di detta forza, cioè dell'attrazione della terra, della gravità, che studieremo più innanzi. Ma non solo per inerzia un corpo in quiete non può mettersi in moto senza una forza: ma anche la proposizione inversa, che un corpo in moto non ritorna in quiete senza una forza che distrugga l'effetto di quella che l'ha prodotto. Questo secondo fatto che costituisce l'inerzia è meno evidente del primo, essendochè tutto giorno vediamo sotto i nostri occhi estinguersi i movimenti. Ma servismoci della esperienza. Prendo una palla d'avorio, la poso sopra questo piano di legno coperto di arena, ed osservo quello che accade mettendola in moto; osservo che la palla percorre un certo spazio prima di mettersi in quiete. Ripeto la stessa esperienza colla medesima palla, gli comunico la stessa forza, ma ho cura di ripulir la tavola dall'arena: la palla anche in questo

caso si muove, e solo noto che prima di riposarsi ha percorso uno spazio assai più lungo di quello percorso nella prima esperienza. Rinnovo ancora l' esperimento conservando però le stesse circostanze ma adoperando un piano più levigato della tavola di legno, e veggo che la palla non cessa di muoversi che dopo avere percorso uno spazio assai più lungo della prima volta e ancora più lungo della seconda. La conclusione di questi esperimenti è facile, e vi siamo condotti dall'argomento di analogia. Il piano su cui la palla si muove contiene ostacoli da vincere; e quando s' immaginano questi ostacoli tolti affatto, si deve concludere che un corpo, ricevuta una volta l' impulsione da una forza, persisterebbe per se solo eternamente nel moto. Aggiungerò un altro esempio: vedete questa palla sospesa ad un filo, che tolta dalla sua posizione e poi abbandonata al mette in moto, descrive archi intorno alla sua prima posizione; è quel che dicesi un pendolo che oscilla: osservate come queste oscillazioni che fa il pendolo muovendosi nell' aria presto si estinguono, allorchè fo che il pendolo si muova nell' acqua; anche in questo caso adunque il movimento cessa più presto, perchè è maggiore la resistenza incontrata nell' acqua che nell'aria. Vedremo fra poco in che consiste realmente questa resistenza: ritenete per ora che è sempre dovuta a materia messa in moto, e quindi a forza rubata al corpo che la mette in moto. Ma della conservazione indefinita dello stato di moto della materia abbiamo una solenne prova ne' movimenti celesti, i quali sono invariabili da tanti secoli. È dunque legge generale che i corpi non possano di per sè alterare lo stato loro, non mettersi in moto, nè cessare di muoversi. L' inerzia dunque non è la pigrizia, come gli antichi la definivano. Dalla quale proprietà generale siam condotti a parlare delle forze. Cosa è pertanto una forza? Nulla sappiamo della sua intima natura: sappiam solo che è la causa che determina il movimento, quindi siamo costretti a studiarla nell' effetto che essa produce. Un movimento non ha mai luogo, nè può essere altrimenti dopo ciò che abbiam detto dell' inerzia, che in una certa direzione, e la direzione in cui il corpo si muove è quella della forza che lo ha fatto muovere. Noi vediamo un corpo muoversi, cioè percorrere un certo spazio in un dato tempo. Del tempo non è possibile darvi la definizione: guardate i movimenti che si succedono, quelli che si ripetono, e avrete la idea del tempo. Noi vediamo ancora corpi in moto percorrere un diverso spazio nello stesso tempo, e diciamo subito che quei corpi che percorrono un maggiore spazio di altri nello stesso tempo, son più *veloci*. La velocità dunque è la prima idea che ci viene studiando il moto, cioè confrontando lo spazio che un corpo percorre col tempo che v' impiega, e questa velocità è un altro effetto della forza. Possiamo adunque sicuramente porre che la direzione della forza è quella del movimento, e che la intensità della forza è misurata dalla velocità del movimento. Ma quali saranno i rapporti fra forze e velocità? Possono esser mille, e non possono sceglierai *a priori*. L'esperienza sola ci prova che le *velocità sono semplicemente proporzionali alle forze*. E non ci è dato conchiuder diversamente, ogni volta che vegghiamo i movimenti relativi d' un sistema di corpi non essere punto alterati da un nuovo impulso egualmente aggiunto in tutti i punti. Il principio è così fondamentale, che non so rimanermi dall' insistervi e dal chiarirlo. Supponiamo due corpi che si muovano nella stessa direzione, e spinti da forze che rappresenteremo con 1 e 2, e supponiamo che le velocità non siano proporzionali alle forze, ma ai loro quadrati. È chiaro che le forze essendo come 1 a 2, le velocità saranno come 1 a 4, il secondo corpo tenderà ad allontanarsi dal primo con una velocità eguale a 3. Aggiungiamo ora ai due corpi una stessa forza 1, le due forze diventeranno 2 e 3, e le velocità espresse dai loro quadrati saranno 4 a 9, il secondo corpo tenderà ad allontanarsi dal primo con una velocità espressa da 5, e quindi ben diversa dalla prima. I movimenti relativi restano così alterati per una nuova forza eguale aggiuntavi, quando si ammetta che le velocità sieno proporzionali ai quadrati delle forze. Qualunque altro rapporto fra le velocità e le forze fuori di quello della semplice proporzionalità porterebbe alla stessa conseguenza. Ora l' esperienza c'insegna che non vi sono alterazioni nei movimenti relativi, prodotte da forze comuni aggiunte. In un vascello di cui tutte le parti sono messe in movimento, se si vogliono muovere corpi già trasportati dal movimento comune, bisognerà la stessa forza come se il vascello fosse in quiete, e le velocità acquistate saranno le stesse; altrettanto accade per i diversi punti della terra che tutti si muovono per la sua rotazione, e con diversa velocità nei diversi punti: in tutti questi casi noi vediamo i rapporti delle velocità dei corpi in moto conservarsi per nuova forza aggiunta, ed esser gli stessi come se i corpi fossero in quiete. Lo ripeterò dunque: le forze sono proporzionali alle velocità; forza doppia, velocità doppia.

Sin qui abbiamo considerata l'azione del-

la forza sopra un sol punto materiale: ma i corpi in natura son riunioni di punti materiali, sono masse. Nell' effetto adunque di una forza sopra un corpo introduciamo l'elemento massa, e studiamo ciò che accade.

Prima legge. *Sopra eguali masse di diversi corpi una data forza determina in tutte la stessa velocità.* Questa legge ci è dimostrata dalla sperienza. Vedremo più dinanzi come si possano determinare le masse dei corpi, e quindi avere le stesse masse di tutti i corpi. Ora tornando alla esposta legge, dico che è facile conoscere colla sperienza come una medesima forza comunichi a masse eguali la stessa velocità. E ciò, oltre che fia verificato per la gravità, possiamo riscontrare urtando egualmente masse eguali di corpi diversi (piombo, zolfo, ferro ecc.) alle quali tutte sarà così comunicata la stessa velocità. E questo principio ci serve per appunto a determinare le masse dei corpi; di maniera che se da una stessa forza osserviamo comunicata a corpi diversi eguali velocità, dobbiamo conchiudere che le masse sono eguali.

Seconda legge. *Le forze sono proporzionali alle masse alle quali comunicano la stessa velocità.* Prendasi una palla di piombo e si tenga conto della forza necessaria a comunicarle una certa velocità. Ora se a questa palla si vorrà comunicare una velocità doppia si troverà esser necessaria una doppia forza, ed una tripla se una velocità tre volte maggiore, o così via discorrendo. Posto ciò, supponiamo colla nostra mente diviso un corpo in un gran numero di parti eguali, e la forza applicata divisa essa pure nello stesso numero di parti eguali. È evidente che il movimento di ognuna delle parti sarà dovuto ad una delle parti della forza totale che vi sarà immediatamente applicata. Quindi la forza totale, eguale alla somma di queste piccole forze, dovrà divenir doppia, tripla, se la quantità della materia cresce nello stesso rapporto. Da questa legge viene che per una data forza la velocità sarà $1/2$ se la massa è doppia, sarà $1/3$ se la massa è tripla, sarà $1/100$ se la massa è cento. E in tutti questi casi il prodotto della velocità per la massa ossia *la quantità di movimento*, che così chiamiamo il detto prodotto sarà sempre lo stesso. Per una data forza, qualunque sia la massa, la quantità di movimento è sempre costante, o le velocità e le masse devono variare in ragione inversa l'una dell'altra. La quantità di movimento è dunque la vera misura della forza; o la forza che agisce sopra una massa qualsivoglia è sempre in relazione del prodotto della massa per la velocità. Possiamo esprimere queste leggi con formole semplicissime $F : F' :: MV : M'V'$. Se $V = V'$ si avrà $F : F' :: M : M'$. Se $M = M'$ si avrà $F : F' :: V : V'$. Se $F = F'$ si ha $M : M' :: V' : V$.

LEZIONE IV.

Comunicazione del movimento. — Urto dei corpi duri o molli. — Pendolo balistico. — Resistenza dei mezzi. — Rapporto fra le velocità e le resistenze. — Forze istantanee e continue. — Moto uniforme e moto vario. — Forza centrifuga.

Bastano gli esposti principi per intendere come ha luogo la comunicazione del movimento. Le forze principali che servono in natura a mettere i corpi in moto non agiscono ordinariamente in modo diretto che sopra un piccolo numero delle molecole che compongono il corpo: così la massa gassosa che lancia la palla di un cannone, non urta e non imprime l'impulso che al suo emisfero interno; in ogni macchina la forza motrice non agisce direttamente che sopra alcune sue parti, da cui poi il movimento si diffonde. Convien dunque che questo movimento si distribuisca e si divida ugualmente, e solo quando si è fatta questa divisione comincia il movimento. È dunque necessario un certo tempo perchè una forza vinca l'inerzia, e da molecola in molecola si diffonda per tutta la massa uniformemente; e perciò la comunicazione del movimento non è mai istantanea, ma più o meno tarda secondo la varia massa e la natura del corpo.

Ognuno di voi avrà provato stando in vettura, che al primo partirsi con una certa velocità si urta colla schiena contro la parete di dietro; ed avrà pur provato ugualmente che quando la vettura si arresta improvvisamente, si va a percuotere contro la parete che sta dinanzi. S' intende così come avviene che una palla di fucile traversa una lastra di vetro senza metterla in pezzi e non vi fa che un foro. Questo fenomeno dipende dalla sola velocità; poichè se la palla è lanciata con una velocità minore, il vetro si frange. Per la velocità con che la palla esce dal fucile le molecole del vetro che essa incontra direttamente vengono trasportate così presto da non rimanere tempo di trasmettere alle molecole laterali il movimento da loro ricevuto; e se la lastra di vetro contro

di cui è lanciata la palla fosse sospesa ad un filo, non solo non andrebbe in pezzi, ma nemmeno verrebbe mossa dalla sua posizione. Le stesse ragioni valgono a spiegare come non possa lanciarsi insieme ad una palla di cannone una corda legata, e costretta a spiegarci con essa: bisognerebbe, perchè questo fosse, che la forza che tiene unite le molecole, potesse resistere alla velocità improvvisa che provano quelle delle sue molecole che sono immediatamente unite alla corda. Oltre a questi fenomeni che accompagnano la comunicazione del movimento e che dipendono dal tempo impiegato perchè il movimento si diffonda uniformemente per tutto il corpo, ve ne sono altri che dipendono direttamente dalla massa relativa e dalla natura dei corpi. V'è nei corpi una proprietà, e in diverso grado, che consiste nel cambiar di forma per une forza esteriore, e nel riprenderla cessata la forza. Questa proprietà dicesi elasticità, e noi la studieremo più innanzi. Ora ci conviene supporre che i corpi ne sieno privi. Dato adunque che un corpo in moto incontri un altro, non ammetteremo che nell'urto si sviluppi altra forza. Vedremo poi altrova come i risultamenti che qui sono per divisarvi sieno modificati. Un corpo in moto che ne incontra un altro in riposo è costretto a spingerlo innanzi a sè, e quindi a comunicargli una tale quantità di movimento, che dopo l'urto si muovano insieme con una velocità comune. Difatto il corpo urtato non può acquistare velocità maggiore della velocità dell'urtaute, altrimenti questo darebbe più di quello che ha; e non può neppure acquistarne meno, perchè dove così accadesse, l'urto non cesserebbe. Ora è chiaro che se la massa del corpo in riposo è uguale a quella del corpo in moto, la velocità delle due masse dopo l'urto sarà divenuta la metà essendo doppia la massa: e se la massa in quiete sarà doppia della massa in moto, la velocità comune ad amendue dopo l'urto sarà un terzo, essendo divenute tripla la messa; così la velocità sarà un quarto, un quinto, secondo che la massa diventerà quadrupla e quintupla ec. in generale adunque fra la velocità dopo l'urto e quella prima dell'urto è lo stesso rapporto che fra la massa del corpo in moto e la somma della massa in moto colla massa in quiete. Sia V la velocità della massa M in moto, e M' la massa in quiete, e V' la velocità delle due masse dopo l'urto: è chiaro pei principi esposti, che

$$VM=V'(M+M') \text{ da cui } \frac{V'}{V}=\frac{M}{M+M'}, \text{ciò che}$$

vuol dire che la forza comunicata, o la quantità di movimento perduta è eguale all'equistata, e non può essere altrimenti. E da questo appare che sua massa del corpo urtato, per grandissima che ella sia, può comunicarsi un qualche movimento da una massa in confronto piccolissima, purchè la velocità di questo sia grande assai. Si supponga infatti che una palla da fucile di cui la massa è 1, abbia all'uscire dall'archibugio una velocità di 1300 piedi per secondo, e si supponga che così sia scagliata contro una grossa palla da cannone la cui massa sia 576 volte maggiore, com'è appunto quella da *quarantotto*: dopo l'urto le due palle si muoveranno co'la velocità di circa due piedi per secondo. In generale il movimento non si estingue mai: dal corpo in moto passa in quelli che incontra, e diviene insensibile perchè infinitamente si diffonde. Con uno strumento detto *pendolo balistico*, ed applicando l'indicata formola e i divisati principi, si può giungere a determinare le velocità dei proiettili. Componesi il pendolo balistico di una specie di martello sospeso ad una verga di ferro terminata nella estremità inferiore da una punta, la quale, muovendosi il pendolo, scorre sopra un quadrante coperto di cera e vi segna la traccia. Una palla da fucile, o qualunque altro proiettile scagliati contro il pendolo fanno che questo si muova, e dall'arco percorso per l'urto si calcola la velocità ricevuta. Conosciuta la quale nulla più si ignora, perchè le due masse si conoscono, e la velocità del proiettile prima dell'urto, la quale era l'incognita, si sa essere uguale al quoziente che si ottiene dividendo per la massa urtante il prodotto della velocità dopo l'urto, moltiplicata per la somma delle due masse. A questo proposito noi ci fermeremo alcun poco sulle resistenze, che non sono altro che corpi messi in moto, che movimento comunicato, diffuso. Un corpo che si muove nell'acqua, come quel pendolo che v'ho fatto vedere parlandovi dell'inerzia, è costretto nei muoversi di urtare, di spinger dinanzi a sè lo strato di molecole che incontra, e tutto il movimento che loro comunica è tutto movimento che egli perde. Ricordatevi che quel pendolo cessava di muoversi, tanto più presto quando o cillava nell'acqua, di quello che non faceva movendosi nell'aria; e questo accadeva perchè nell'acqua doveva spostare un più grande numero di molecole, e comunicare loro il movimento. Varia dunque la resistenza proporzionalmente alla densità del mezzo. Si ammette in Meccanica per le resistenze un principio generale in qualche modo dimostrato dall'esperienza, ed è che le resistenze sono proporzionali ai quadrati delle velocità. Ecco come può intendersi: un corpo che dentro un mezzo resi-

stente si muove con una velocità doppia, perde 2 perchè incontra un doppio numero di molecole, e perde 2 perchè a questo doppio numero di molecole comunica una velocità doppia. Dunque quando la velocità diviene 2, la perdita è 4.

Sin qui noi abbiam considerata l'azione della forza sul corpo che mette in moto, prolungata per un intervallo di tempo inapprezzabile. Ma non è questo il solo caso in natura, posciachè vi sono forze che persistono continuamente per tutta la durata del movimento e che seguitano a comunicare al corpo nuovi impulsi. Si distinguono perciò in Meccanica due specie di forze, cioè le forze istantanee, e le forze continue. D'uopo è per altro avvertire che questa distinzione utile in teoria, non è d'altronde reale, perchè in natura non v'è forza la cui azione possa rigorosamente riguardarsi istantanea. Una forza qualunque esige sempre un tempo finito, per comunicare al corpo su cui agisce una velocità finita, e gli effetti delle forze pretese istantanee, possono essere riguardati come dovuti ad una forza continua che ha agito sul corpo, e lo ha abbandonato dopo averlo messo in moto. Non ne viene però alcuna idea inesatta dalla distinzione suddetta. La forza istantanea comunica al mobile un genere di moto chiamato *uniforme*: la velocità in questo moto è costante e rappresentata dall'equazione $V=\frac{S}{T}$ da cui $S=VT$. Lo spazio, il tempo, e la velocità, che sono quantità di specie diversa, devono riferirsi a diverse unità, affine di poter paragonare i numeri con cui sono rappresentate. Così S è il rapporto fra lo spazio percorso e l'unità di lunghezza, T quello del tempo impiegato all'unità di tempo; e dalla detta formola si deduce che lo spazio sarebbe eguale in numeri a superficie rettangolari fatte sopra lati rappresentanti il tempo e la velocità. È facile d'intendere come di rado in natura si verifichino movimenti uniformi. Dopo ciò che si è detto delle resistenze, le velocità dovute a forze istantanee vanno sempre diminuendo.

Una forza continua produce un'altra specie di movimento, quello che chiamasi *vario*. Questa forza può agire costantemente colla stessa intensità, in tutti i tempi del movimento, o con intensità variabili; nel primo caso è chiamata *forza acceleratrice costante*, e il moto che produce dicesi *uniformemente* vario, il quale può essere o uniformemente *accelerato* o uniformemente *ritardato*, secondo che gl'impulsi continui della forza sono diretti ad accrescere, o a diminuire la velocità. Il moto dei corpi che cadono sulla superficie della terra, dovuto all'azion continua della gravità, è un esempio del moto uniformemente accelerato; il moto dei corpi lanciati di basso in alto è un esempio del moto uniformemente ritardato. Avremo occasione d'intertenerci a lungo su di questo parlando della gravità. Ma quale è nel moto il vario rapporto fra la velocità e il tempo? Per intender ciò, si ammetta che la forza sia divisa in una serie d'impulsi successivi, separati gli uni dagli altri da intervalli di tempo infinitamente piccoli: ne verrà di conseguenza che i movimenti prodotti da queste forze saranno l'effetto di una serie di forze istantanee infinitamente piccole, che si succedono ad intervalli di tempo infinitamente piccoli. La forza agisce al principio di ogni istante per comunicare al mobile una certa velocità, e l'abbandona sino al principio dell'istante che segue. Il moto in ognuno di questi istanti può considerarsi uniforme. La forza acceleratrice essendo costante, gl'impulsi successivi avranno tutti la stessa intensità, e quindi saranno uguali gli accrescimenti di velocità ch'essi producono. *La velocità totale, che è la somma di questi accrescimenti, sarà perciò proporzionale al tempo.* Noi facciamo in questo ragionamento un'astrazione, identica a quella che si fa dai Geometri allorchè studiano le proprietà delle linee, o superficie curve, considerandole come formate di un gran numero di piccole linee rette, o di piccole aree. Ci stringeremo a dare le formole del movimento vario. Le quali male sapremmo dedurre colle nozioni di Geometria elementare di che vi suppongo istrutti: e di vero tutte le dimostrazioni delle formole del moto uniformemente vario che si posson dare colle cognizioni elementari sono essenzialmente inesatte. Sia V la velocità acquistata dal mobile, T il tempo percorso dall'istante in cui la forza acceleratrice ha cominciato ad agire, e φ l'accrescimento costante della forza acceleratrice nell'unità infinitamente piccola di tempo; avremo alla fine degli istanti 0, 1, 2, 3,..... T, le velocità 0φ, 1φ, 2φ, 3φ..... $T\varphi$

Le due formole che esprimono tutte le leggi del movimento vario sono

$V=\varphi T$, e lo spazio $S=\frac{\varphi T^2}{2}$

da cui $\varphi=\frac{2S}{T^2}$. In questo movimento, gli spazi sono proporzionali ai quadrati dei tempi e la misura della forza acceleratrice costante che opera sull'unità di massa è data da φ che è l'aumento di velocità nell'unità di tempo, e che si trova eguale al doppio dello spazio che fa percorrere all'unità di

massa, diviso pel quadrato del tempo impiegato. Considerando uniforme il movimento negli intervalli infinitamente piccoli di tempo, i termini della seconda serie ci rappresentano gli spazi percorsi, e la somma della progressione sarà lo spazio totale percorso nel tempo T. Trascurando in questa somma il termine φ infinitamente piccolo in confronto di φ T, si può averne lo spazio totale espresso dalla formola suddetta. Ma questa soppressione rende imperfetta la dimostrazione, la quale ripeto non potersi dare che con nozioni di calcolo superiore, posciachè in questo si studiano le quantità sottoposte alla legge di continuità, adoperando elementi infinitamente piccoli di variazione, e che pur si possono sopprimere senza verun errore. Cotali elementi infinitamente piccoli, hanno una esistenza reale appunto nel caso che noi consideriamo: gli spazi percorsi da un corpo sottoposto ad una forza continua crescono per tali quantità, che fra due successive non è possibile trovarne una, per piccola che si voglia supporre.

Parlando della gravità, che dimostreremo coll'esperienza essere una forza continua, vedremo col *fatto* che nel moto prodotto da questa forza, le velocità sono proporzionali ai tempi, e gli spazi proporzionali ai quadrati dei tempi. Due conseguenze importanti risultano da queste leggi. Se la forza acceleratrice cessa di agire alla fine di un tempo T, il corpo avendo percorso con un moto accelerato lo spazio $S=\frac{\varphi T^2}{2}$, il moto uniforme con cui seguiterà a muoversi in virtù della velocità acquistata $V=\varphi T$, sarà tale, che nello stesso tempo T percorrerà uno spazio $S'=VT=\varphi T^2$, che sarà per conseguenza doppio di quello percorso con moto accelerato. La velocità di questo movimento uniforme che succede al movimento accelerato, è precisamente ciò che si chiama *velocità del moto accelerato*. Confrontando le due equazioni $V=\varphi T$, $S=\frac{\varphi T^2}{2}$, ed eliminando T si ha $V=\sqrt{2\varphi S}$ formola che ci dà la velocità corrispondente ad un certo spazio percorso, senza che si conosca il tempo impiegato. Ci resta solo a determinare il valore di φ

Vedremo in una delle prossime lezioni, che facendo rotare un corpo legato per un filo ad un punto fisso, si sviluppa una forza acceleratrice, chiamata centrifuga, e che tende il filo secondo la velocità più o meno grande con cui si fa rotare.

LEZIONE V.

Composizione e risoluzione delle forze. — Equilibrio. — Parallelogrammo delle forze; dimostrazione sperimentale. — Forze parallele. — Centro delle forze parallele. — Coppia.

Noi abbiamo sinora considerato il caso di una forza sola che agisce sopra un sol punto materiale e non ne abbiamo distinti gli effetti se non che supponendola varia nella durata della sua azione sul corpo. Dobbiamo ora esaminare il caso di diverse forze che agiscono contemporaneamente, 1. sopra un sol punto materiale; 2. sopra una serie di punti fra loro legati invariabilmente. Questo secondo caso è quello che si verifica in natura, essendo appunto i corpi costituiti da una serie di punti materiali riuniti fra loro in un modo più o meno stabile, e per l'azione di forze che in seguito studieremo. Abbenchè diverse forze agiscano sopra un punto materiale, è evidente che questo punto materiale non potrà muoversi che in una sola direzione e con una certa determinate velocità; e da questo s'intende di leggieri che un sistema di forze ha l'effetto di una forza sola: adunque vi è sempre una forza capace di produrre nel punto materiale quel movimento che è determinato dalle diverse forze che agiscono simultaneamente sul punto materiale. Questa tal forza che rappresenta per la direzione e per l'intensità l'effetto di più forze, che le può rimpiazzare, dicesi forza *resultante*, e *componenti* si chiamano le forze che rimpiazza. Il problema della *composizione delle forze*, si riduce alle ricerca in un modo generale della risultente. Abbiam visto che i moti relativi non sono alterati da forze comuni aggiunte, e dirette in un modo qualunque: gli effetti prodotti da forze aggiunte sono perciò indipendenti dal moto che già esiste, e non variano sia il corpo in moto, o sia in quiete. Viene da ciò, che se un punto materiale è sottoposto a due forze istantanee o acceleratrici, in due direzioni determinate e costanti, lo spazio percorso per questa azione simultanea in un certo tempo sarà quello stesso che avrebbe percorso sotto l'influenza di ciascuna delle due forze nello stesso tempo, e nelle loro rispettive direzioni. S'immagini un corpo spinto orizzontalmente; alla fine di un certo tempo si troverà ad una distanza orizzontale eguale a quella che avrebbe percorso nello stesso tempo obbedendo alla forza di proiezione:

di fatto però la sua strada non sarà stata una linea orizzontale, bensì durante quel tempo sarà caduto percorrendo una linea curva per l'azione della gravità, e la distanza verticale al di sotto del punto di partenza sarà uguale all'altezza da cui sarebbe caduto durante quel tempo, obbedendo liberamente all'azione della sola gravità. In generale potrà sempre trovarsi il luogo che sarà occupato dopo un dato tempo da un punto materiale, o da un corpo sottoposto all' azione simultanea di un numero qualunque di forze: e basterà a ciò supporre che queste due forze abbiano agito successivamente e per lo stesso tempo. Premessi questi principi potremo risolvere il problema della composizione delle forze. Allorchè le diverse forze che agiscono sul punto materiale hanno la stessa direzione, operano nello stesso senso, è evidente che la risultante avrà la direzione stessa delle componenti, agirà nello stesso senso, e la sua intensità sarà eguale alla loro somma. Due forze eguali sono quelle che agendo nella stessa direzione e in senso contrario, si distruggono, e lasciano il punto materiale in quiete. È questo il caso più semplice, il più generale di quello stato che chiamasi *equilibrio*. Due forze che si fanno equilibrio perchè eguali nelle stessa direzione e agenti in senso contrario, si sommano necessariamente allorchè agiscono nello stesso senso. Ne viene anche, che due forze agenti in senso contrario ed essendo disuguali, avranno una risultante uguale in intensità alla differenza delle due componenti. In generale, allorchè un punto materiale è sottoposto a diverse forze nella stessa direzione, ma dotate di varia intensità, e alcune agenti in un senso, altre nel senso contrario, si troverà la risultante sommando insieme tutte le forze che agiscono in un senso e tutte quelle che agiscono nel senso contrario, e prendendo la differenza di queste due somme.

Esaminiamo ora il caso di due forze applicate sopra un punto materiale, e facenti un angolo fra loro. Anche in questo caso il punto materiale acquisterà un movimento il quale potrà considerarsi prodotto da una forza risultante che rimpiazzi le due componenti. Come si risolve il problema della composizione delle forze in questo caso? La risultante che rappresenta in direzione ed in intensità le due forze componenti ci è data da una semplicissima costruzione geometrica. Sopra le linee (*Fig.* 1) *ac*, e *ac'* che rappresentano le direzioni delle due componenti angolari, si prendano le due porzioni *a b*, e *a d* come lunghezze esprimenti le intensità delle due componenti: dai punti *b* e *d* si tirino le due rette *b s*, e *d s* parallele alle componenti *a d*, e *a b*. La linea *a s* diagonale del parallelogrammo costruito sulle due componenti, rappresenta in intensità e in direzione la loro resultante, ciò che equivale a dire, che le due forze *c* e *c'* comunicherebbero al punto, agendo simultaneamente, lo stesso movimento che gli comunica la forza *a s*. Questo principio è vero, è generale per le forze uguali come per le ineguali; sussiste qualunque sia l'angolo, ottuso, acuto o retto che facciano le forze fra loro: è il fondamento della Statica, ed è conosciuto sotto il nome di *parallelogrammo delle forza*. Quando le due forze sono eguali, la risultante divide sempre il loro angolo in due parti eguali; l'intensità per altro varia, cioè è eguale, maggiore o minore di quella delle due componenti secondo l'angolo che esse fanno. Allorchè le due forze sono ineguali, la risultante taglia l' angolo in due parti disuguali, e si va sempre più ravvicinando alla forza maggiore con cui fa l'angolo più piccolo. Ci sforzeremmo inutilmente di dimostrare col semplice ragionamento questo principio, pel quale bisognano dimostrazioni geometriche che qui devo sopprimere. Dal buon senso non altro ci si dice se non che un punto materiale sottoposto a due forze angolari, non potendo obbedire contemporaneamente alle due forze, non potendo avere che un movimento solo, deve averlo nello stesso piano delle due forze, in una direzione intermedia a queste; e nel caso della loro eguaglianza, deve la risultante divider l'angolo a metà, non essendovi ragione di accostarsi all' una piuttosto che all'altra delle componenti.

Abbiamo tutto giorno mille esempi di composizione di forze angolari, e ognuno di voi probabilmente avrà visto una barca tirata lungo un canale e per mezzo di corde, da due uomini che le vanno innanzi camminando per i due argini. I corpi che muovonsi sopra un piano inclinato ci somministrano un altro esempio del moto composto, se non che facendosi a studiare il moto di cotali corpi ci è d'uopo invertire il principio della composizione delle forze. E non siegue già da questo contradizione alcune; perchè se due componenti angolari possono essere rappresentate da una sola forza resultante, è chiaro che non v' è forza che non si possa risolvere in due componenti angolari. Vedremo in seguito come la gravità tende a fare andare i corpi in una direzione perpendicolare alle acque del mare. Ora posto un corpo sopra un piano inclinato non può egli obbedire all'azione della gravità, e cadere nella direzione da lei voluta: la forza si scompone in due forze angolari, l'una delle quali è perpendicolare

al piano, l'altra parallela al piano stesso, ed è questa forza che lo fa cadere. Ma eccovi un apparecchio acconcio a rappresentarvi in qualche modo il principio della composizione delle forze. Consiste, siccome vedete, in un piano ben levigato di marmo, sopra un lato del quale sono fissi due martelli mobili a guisa di pendoli, che fatti cadere per un arco eguale, vanno alla fine della loro caduta ad urtare contro una palla. Le direzioni delle componenti si disegnano sopra il piano, e non sono che le tracce dei piani in cui i martelli si muovono. La palla urtata dai martelli corre nella diagonale del parallelogrammo costruito sulle due componenti, allorchè l'esperienza è fatta esattamente. Vedete anche un altro apparecchio che serve a meglio determinare coll'esperienza il principio del parallelogrammo delle forze. Tre carrucole (*Fig.* 2) mobili sopra un pernio sono fissate colle loro casse verticali in tre lati di una tavola quadra. Scorrono sulle scalanature delle girelle tre fili i quali con un capo vengono a riunirsi nel mezzo della tavola stessa, coll'altro sostengono un peso. I tre pesi attaccati ai fili rappresentano altrettante forze, due delle quali possono figurare le componenti. Sopra i fili da cui pendono i pesi prendonsi, partendo dal vertice dell'angolo che fanno ove insieme sono congiunti, delle lunghezze le quali stiano ad una data unità lineare nello stesso rapporto in cui stanno quei pesi ad una data unità di peso: sopra queste lunghezze si costruisce il parallelogrammo, e si traccia la direzione e la lunghezza della diagonale. È chiaro che questa deve rappresentare colla sua lunghezza il peso attaccato al terzo filo, giacchè questo peso è la forza che vi fa equilibrio, e che perciò dev'essere eguale in intensità alla risultante, ed agire nella stessa direzione in senso contrario della medesima.

Una forza qualunque potrà sempre risolversi in due componenti, rappresentate dai lati del parallelogrammo avente per diagonale la forza data. L'equilibrio si otterrà applicando nella direzione della risultante una forza di eguale intensità, e che agisca in senso contrario. Se un punto materiale è sottoposto all'azione di molte forze angolari, potrà sempre aversi la risultante totale, cercando da prima la risultante di due di queste, poi quella di questa prima risultante con una terza componente, e così di seguito. Infine una forza potrà anche decomporsi in tre altre di cui sieno date le direzioni; basterà su di queste costruire un parallelepipedo, una delle diagonali sarà la risultante, e le intensità delle componenti verranno rappresentate dai tre lati del parallelepipedo.

Passiamo ora ad esaminare il caso di diverse forze applicate ad una serie di punti materiali legati fra loro invariabilmente. Nel caso di due forze che si trovino nello stesso piano, applicate ad un corpo e con direzioni inclinate, se ne avrà la risultante prolungando la direzione di queste forze finchè s'incontrino. Il parallelogrammo costrutto sopra queste due linee, prese le componenti partendo dal vertice, avrà per diagonale la risultante cercata. Anche in questo caso si distruggerà l'effetto delle due forze, e il sistema resterà in equilibrio, applicando nella direzione della risultante una forza che le sia uguale e contraria. Per trovare questa risultante noi abbiam supposto il punto d'incontro delle componenti come fissato invariabilmente al corpo, ed abbiamo su questo applicate le due componenti, nell'istesso modo che abbiamo portata la risultante in un punto qualunque del sistema sulla direzione della diagonale trovata. L'effetto di una forza P (*Fig.* 3) non è mai alterato, trasportando il suo punto di applicazione in un punto qualunque C della sua direzione. Difatti se si applicano in quel punto C due forze P' e Q eguali a P e contrarie fra loro, è chiaro che non sarà punto alterato l'equilibrio del sistema. Posso supporre perciò nullo l'effetto delle forze P e Q, per cui ci rimarrà la forza P', eguale alla P ed applicata nel punto C.

Troviamo ora la risultante di due forze parallele agenti nello stesso senso e applicate in due punti qualunque della retta A B (*Fig.* 4). Siano P e Q le due forze parallele di cui si cerca la risultante. Si applichino agli stessi punti A e B due forze C e C' eguali e opposte fra loro. È evidente che queste non altereranno l'effetto delle due forze P e Q, ma ci permetteranno di prendere la risultante delle due forze P e C, Q e C', e di applicare queste risultanti al loro punto d'incontro O. In seguito si decompongano di nuovo queste risultanti nelle loro componenti parallelamente alle prime, avremo le due forze O e, e O e' eguali e contrarie che si distruggeranno fra loro; resteranno le due forze *p*, e *q* eguali a P e Q, e portate sulla retta O O'. La risultante di due forze parallele è dunque 1. parallela alle componenti; 2. eguale in intensità alla loro somma se ambe agiscono nella stessa direzione; alla loro differenza, se agiscono in senso contrario; 3. il punto in cui questa risultante taglia la retta A B a cui sono applicate le due componenti è tale, che le distanze A O', e O' B sono in ragione inversa delle forze P e Q. Le prime due conseguenze sono evidenti, la terza risulta da una proposizione di Geometria elementare, per cui si hanno le due se-

guenti proporzioni; RP: PA :: AO : O'O; QR: QB :: O'B: O'O; dalle quali due si ricava, essendo RP = QR', la proporzione AP: BQ :: O' B: O' A, e da questa infine l'equazione AP . A O'= BQ. O B, cioè P. A O'= Q. BO'. Il punto O' in cui passa la risultante delle forze parallele dicesi *centro delle forze parallele*, che è dotato di una proprietà importante. La posizione di questo punto resta invariabile qualunque sia l'inclinazione delle parallele componenti sulla retta AB. Infatti il punto d' applicazione della risultante non è determinato che dalla sola considerazione dei punti d' applicazione e del le intensità delle forze, ed è perciò indipendente dalla loro direzione. Allorchè si hanno più forze parallele agenti sopra una serie di punti legati invariabilmente fra loro, la risultante si ha componendole a due a due colla costruzione già indicata.

Se due forze eguali parallele ed opposte agiscono sopra una linea A C (*Fig*. 5), si ha ciò che dicesi *coppia*. Dopo quello che si è detto sulla risultante delle forze parallele, ne viene evidentemente che la risultante di una coppia è eguale a zero. Non v' è perciò condizione d'equilibrio per una coppia; può questa rimpiazzarsi da altre coppie, trasformarsi in un numero infinito di maniere, ma non può mai essere rimpiazzata da una forza unica. Lasciando agire queste forze la linea C A girerà, non vi sarà più coppia, e le due forze si troveranno distese nella direzione della retta C A. Vi saranno due stati d'equilibrio, lo stato B C A D che sarà d'*equilibrio stabile*, l' altro D A C B d' *equilibrio instabile*, perchè per poco che il sistema si sposti, tende a rivoltarsi, e a rimettersi nello stato BCAD.

LEZIONE VI.

Leva. -- Equilibrio della Leva. -- Momento di rotazione. -- Moto per le traiettorie. -- Forza centrifuga. Macchine e loro effetto dinamico. -- Forza animale.

Dopo avere esposto la teoria della composizione delle forze parallele e della coppia, non posso astenermi dal dirvi dell' equilibrio della leva. Dicesi leva una verga retta o curva, perfettamente rigida ed invariabile di figura, libera di rotare intorno ad un punto fisso, detto punto di appoggio. Chiamasi braccio della leva, la lunghezza della perpendicolare abbassata dal punto di appoggio sulla direzione o prolungamento della forza. Nell' uso ordinario della leva una di queste forze è chiamata *potenza* l' altra *resistenza*. È evidente che una leva non potrà essere in equilibrio sotto l'azione di una sola forza a meno che la direzione di questa non passi per il punto di appoggio, e non si trovi nel prolungamento della verga. Vediamo ora le condizioni di equilibrio, allorchè due forze situate nello stesso piano, e parallele o inclinate fra loro, trovansi applicate alle estremità della leva. Il punto di appoggio distrugge ogni movimento progressivo; quindi è che cercare le condizioni d'equilibrio di una leva, è cercare le condizioni che le impediscono ogni movimento rotatorio intorno al punto di appoggio. Queste condizioni sono tre: 1.ª che sia sottoposta a due forze che tendano a farla rotare in senso contrario; 2.ª è necessario che le intensità delle forze applicate alle due estremità siano in ragione inversa dei loro bracci respettivi; 3.ª il punto di appoggio deve sopportare una pressione eguale in intensità alla somma delle due forze se sono parallele, uguale alla *risultante* se sono inclinate. La resistenza che fa il punto d' appoggio rappresenta in tutti i casi una forza diretta in senso contrario alla risultante. La formola dell' equilibrio della leva, tanto nel caso delle forze parallele quanto in quello delle inclinate, è sempre data dall' equazione P. AC=Q. BC (*Fig*.6). Questa equazione ci dà la proporzione P: Q :: BC: A C, che ci esprime la seconda condizione d'equilibrio della leva, cioè che una delle forze deve contener l'altra tante volte quante il braccio di questa seconda contiene il braccio della prima. Così se Q è doppio di P, AC deve esser doppio di CB; se Q è cento volte maggiore di P, anche AC deve essere cento volte maggiore di BC. Nel linguaggio ordinario applicandosi la leva a vincere delle resistenze, si suole esprimere il suo equilibrio dicendo, che la potenza e la resistenza sono in ragione inversa dei respettivi bracci di leva. Si distinguono tre sorte di leva, secondo le posizioni relative della potenza, della resistenza e del punto di appoggio. Chiamasi leva di primo genere quella, che ha il punto di appoggio fra la potenza e la resistenza. La bilancia, strumento tanto interessante per le scienze sperimentali, è una leva di primo genere. Non posso qui descrivervi le condizioni tutte che si richiedono perchè questo strumento sia abbastanza sensibile, chè a bene intenderle si vorrebbero in voi cognizioni che ancora non avete, e mi riserbo perciò a parlarvene a lungo più in-

nanzi. Dicesi leva di secondo genere quella che ha la resistenza fra il punto di appoggio e la potenza, e di cui avete un esempio in quelle verghe che, fissate contro la terra con una delle loro estremità e tenute in mano all'altra, sollevano un peso intermedio: è pur leva di secondo genere il pedale degli organi, dell'arrotino ec. In fine dicesi leva di terzo genere quella che ha la potenza applicata tra il punto di appoggio e la resistenza. Le molle da fuoco con cui si stringono i carboni, sono una leva di terzo genere. Alla fine di questa lezione esamineremo ciò che debba intendersi per effetto utile delle macchine; per ora mi limiterò a dire che nella leva di primo e secondo genere può una forza piccola fare equilibrio ad una grande. Nella leva di terzo genere questo equilibrio non può mai darsi, essendo necessariamente il braccio di leva della resistenza sempre più lungo di quello della potenza. L'apparecchio che qui vedete, e che consiste in una verga di ottone, mobile intorno al suo punto di appoggio, e di cui posso variar la posizione, serve a verificare le condizioni di equilibrio della leva che abbiamo esposto. Vario i pesi applicati alle braccia, ed ho sempre l'equilibrio, variando corrispondentemente le lunghezze dei bracci. Se invece di fare agire le due forze parallelamente, ne inclino una, voi vedete l'equilibrio distrutto, e la leva scendere dalla parte opposta, e mostrarmi così che la forza che agisce inclinata non è più capace di fare equilibrio come prima, quando era parallela all'altra forza e perciò perpendicolare al braccio della leva.

Il prodotto P. AC, o Q. AB, che è il prodotto dell'intensità della forza per la lunghezza della perpendicolare abbassata dal punto di appoggio sul prolungamento della forza, chiamasi in Meccanica *momento di rotazione* della forza. Questo momento è la misura del suo effetto rotatorio.

Ed eccoci pervenuti a poter finalmente dare in un modo generale i principi dell'equilibrio di un corpo. Perchè adunque un corpo sia assolutamente in equilibrio fa mestieri che egli non possa nè muoversi di un moto progressivo secondo la direzione della risultante delle forze, nè ricevere alcun movimento rotatorio. Nel primo caso trovata la risultante di tutte le forze che agiscono sopra il corpo, sarà impedito ogni suo moto progressivo, applicando al medesimo una forza uguale e contraria a questa risultante. A distruggere ogni movimento rotatorio bisognerà che la somma dei momenti delle forze che tendono a far rotare il sistema in un senso, sia uguale alla somma di quelli che tendono a farlo rotare nel senso opposto.

Ora ci resta ad esaminare il caso di due forze che agiscono contemporaneamente sopra di un corpo, una delle quali sia istantanea, e l'altra continuamente variabile in intensità e direzione. Se un punto materiale è sottoposto all'azione simultanea di una o più forze istantanee, sappiamo che per la sua inerzia si muoverà nella direzione della forza risultante con una velocità costante, e indefinitamente. Ma questo punto materiale A (*Fig.* 7) è sottoposto a vari istanti a nuove forze P, Q, R, S ec. ed è chiaro che le direzioni AB, BC, CD, ec. che questo punto prenderà successivamente, saranno quelle delle risultanti successive delle forze A, P, Q, R, S espresse dalle linee AB, BC, CD, DE, ec. Posto poi che una forza acceleratrice agisca sopra un punto simultaneamente ad una forza istantanea e in direzione diversa da questa, è chiaro che il punto materiale descriverà un seguito di piccole linee rette che saranno le direzioni delle risultanti successive della forza iniziale istantanea e della forza acceleratrice nei diversi istanti. Succedendosi le azioni della forza acceleratrice in un modo continuo, le linee rette che rappresentano le risultanti saranno infinitamente piccole, e il loro seguito formerà una linea curva. E dove questa forza continua sia diretta costantemente ad un punto, la curva descritta avrà la sua concavità rivolta verso questo punto, che dicesi *centro* o *foco*: le rette condotte dal foco alla periferia chiamansi *raggi vettori*: la forza continua è detta *forza centrale*, l'altra ha il nome di *forza tangenziale*. Vi sarà adesso facile intendere che la curvatura dipende dal rapporto delle due forze, e che la espressione della forza centrale sarà $F=\frac{V^2}{R}$, V è la velocità del moto curvilineo, r il raggio della curva. La forza centrale che tende ad avvicinare il corpo al centro dicesi anche *centripeta*. Obbligando un corpo a descrivere una curva, egli per la sua inerzia tende costantemente a fuggire nella direzione della tangente, e si genera così una forza che tende a portare il corpo lungi dal centro della traiettoria; questa è la forza centrifuga di cui già abbiamo dato un cenno in una delle precedenti lezioni. Ma badate che non va confusa la forza centrifuga colla tangenziale, da cui la centrifuga deriva. Ed in vero la forza tangenziale si decompone ad ogni momento in due forze, una diretta secondo l'elemento successivo della curva, l'altra componente e normale a quella, ed è la forza centrifuga. Possiamo render palese questa forza col mezzo seguente.

Allorchè un corpo M (*Fig.* 8) legato con un filo inestendibile ad un punto fisso C,

descrive con un movimento uniforme la circonferenza del circolo di cui C è il centro, e CM il raggio, prova necessariamente ad ogni istante e nella direzione del filo un impulso che lo fa abbandonare la tangente al circolo, nella quale tenderebbe a muoversi, l'obbliga così a deviare dalla direzione che tende a prendere in virtù della sua inerzia, e lo ritiene nella circonferenza. La somma di questi impulsi è una forza continua della natura delle forze acceleratrici costanti, ed è essa che distrugge gl'impulsi d'una forza contraria che spinge il corpo ad allontanarsi dal centro, e che in realtà lo allontanerebbe se il filo venisse a rompersi. Questa seconda forza, che ha il nome di forza *centrifuga*, produce nel filo una tensione più o meno grande, e misura la resistenza che il punto fisso deve opporre perchè il movimento abbia luogo. Quando si fa rotare questa massa lentamente, si osserva che il filo è poco teso, se in vece rota rapidamente, il filo si tende di più: *la forza centrifuga varia dunque proporzionalmente alla velocità di rotazione.* Quindi è che in circoli ineguali percorsi nello stesso tempo, le forze centrifughe sono proporzionali ai raggi. Un apparecchio assai semplice dimostra questa legge della forza centrifuga. Consiste egli (*Fig.* 9) in una molla circolare *a b*, infilata in un asse *c*. Allorchè si fa rotare quest'asse per mezzo della menovella *m* e della corda incrociata *d*, la molla diviene ellittica, e tanto più quanto più la velocità è grande; i punti i più lontani dall'asse sono quelli che se ne allontanano maggiormente per l'azione della forza centrifuga. L'effetto di questa forza è reso sensibile per mezzo di molti apparecchi. Sopra un asse orizzontale ponesi un pallone di vetro in parte pieno d'acqua; quando il pallone comincia a rotare intorno al suo asse, si vede l'aria raccogliersi nella sua parte centrale. Eccovi un altro apparecchio con che si dimostra questa stessa legge della forza centrifuga, cioè *la sua proporzionalità alla massa rotante.* Consiste (*Fig.* 10) in due tubi di vetro un poco inclinati *a b*, *a' b*, che contengono liquidi di densità diversa, come sarebbe una soluzione di solfato di rame e d'olio essenziale di trementina. Questi due tubi sono sostenuti sopra una forca orizzontale mobile intorno ad un'asta verticale che passa per il suo centro, e che può ricevere un movimento di rotazione più o meno rapido: col rotare dei due tubi vedete il liquido più pesante, che è la soluzione di solfato di rame, salire nella parte superiore dei medesimi.

La forza centrifuga si esprime colla formola $F = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ in cui π è il rapporto del diametro alla circonferenza, r il raggio della curva percorsa, T il tempo di una rivoluzione completa. Queste leggi della forza centrifuga servono a spiegarci un fatto importante che riguarda la forma del nostro Globo. Si sa per misure esattissime che la terra è schiacciata ai poli e che non è precisamente una sfera; il diametro polare è più piccolo di 1/306 del diametro equatoriale. Si è spiegato questo schiacciamento della terra supponendola in origine di una consistenza tale da potere ubbidire all'azione della forza centrifuga sviluppata per la sua rotazione; e così stando, sarebbe della terra avvenuto quello che della molla rotante sull'asse. Che poi la terra sia stata in origine riscaldata al punto da essere quasi liquida sembra provato da molti fatti, e di varia natura. E vedremo infatti più innanzi che il grado di calore cresce discendendo negli strati sotterranei. Intanto chiamo la vostra attenzione sugli avanzi organici tanto vegetabili che animali che si riscontrano in terreni sottoposti a luoghi di cui l'attuale temperatura è oggi assai inferiore a quella che sarebbe necessaria per la vita di questi esseri dai quali avanzi è molto bene dimostrato il raffreddamento della terra. I vulcani poi che ci portano alla superficie i materiali contenuti nelle sue viscere, sono la prova la più solenne di un enorme calor centrale, che ancora si conserva e che mantiene liquido il nucleo del nostro Globo.

Non darò termine a questi principî di Meccanica, che ho creduto dover premettere allo studio particolare delle grandi forze o agenti fisici, senza parlarvi in un modo generale delle macchine e del loro effetto. Le forze naturali e quelle prodotte dagli animali, di rado si applicano immediatamente per ottenere l'effetto desiderato, e talora occorre cambiare la direzione, talora la natura del movimento: e quasi in tutti i casi vuolsi aumentare la velocità e la massa posta in moto. I mezzi con cui le forze iniziali subiscono queste modificazioni, costituiscono quegli apparecchi che noi chiamiamo *macchine*. Si distinguono le macchine in due grandi specie: in una non si cerca altro che la trasformazione della forze motrice, la riduzione ad un movimento uniforme, e allora si trascura ogni perdita che possa patirsi dalla forza; così nell'orologio si tratta di convertire l'effetto di una forza continua in un moto uniforme: il moto accelerato di un grave o quello di una molla che si distende, devono convertirsi in un moto uniforme comunicato agl'indici dell'orologio. In questo caso è grandissima la perdita della forza. Quei piccioli arnesi che adoperiamo per reggere corpi leggerissimi, con

cui diamo precisione e agevolezza ai moti delle nostre mani, sono per lo più leve di terzo genere, in cui abbiam visto non potersi fare equilibrio alla resistenza, che con una potenza molto maggiore. Nell'altra specie di macchine ogni intendimento è a rendere la perdita della forza a tutto quel meno che è possibile e ad ottenere il maggior possibile effetto dinamico qualunque sia la natura del motore impiegato. In generale i movimenti si trasmettono coi corpi solidi, e coi corpi solidi altresì vengono costruite le macchine. Quantunque poi sien queste estremamente varie nelle arti, tuttavia non sono in ultimo che modificazioni di due che possono chiamarsi macchine elementari, cioè la leva, e il piano inclinato. Affine di definire nettamente l'effetto di una macchina, noi la considereremo o in moto, o in equilibrio. Allorchè s'imprime il movimento ad una macchina, se è una forza istantanea che lo produce, accadrà sempre che dopo un certo tempo la macchina cesserà dal muoversi: e ciò perchè la forza istantanea tende a diminuire, come nel caso della forza animale, e perchè gli attriti e le resistenze devono considerarsi, come già abbiam visto, per vere forze acceleratrici. Chiaro è adunque che una forza continua dee più o men presto distruggere una forza istantanea. Quando una forza acceleratrice agisce per mettere in moto una macchina, il suo effetto massimo nei primi momenti supera quello della resistenza, e v'è un'accelerazione di moto; poi crescendo a mano a mano le resistenze, e diminuendo l'energia della potenza, accade che il rapporto delle due forze rapidamente si avvicina a quello che è necessario per ridurre il moto uniforme. E questo è il principio fondamentale del moto delle macchine. Dicesi *effetto dinamico*, *quantità di azione*, *quantità di lavoro*, il prodotto di una forza decomposta nel senso del movimento, per lo spazio percorso. Basta questa definizione a mostrare che la potenza dinamica di un motore non può mai essere aumentata col mezzo di una macchina. Non è consentito di concepire che la forza possa essere integralmente trasmessa al punto ove trovasi applicata la resistenza, giacchè vi sono sempre attriti, resistenze da vincere; e quando pure queste resistenza si supponessero soppresse, non vi sarebbe mai aumento di forza, la resistenza vinta non sarebbe mai superiore alla forza. Ciò che si ottiene colle macchine non è che una trasformazione di effetti; e allorchè vedete una piccola massa mettere in moto una grande, concludete sempre che lo spazio percorso è tanto più grande quanto più lo è la massa, e precisamente nel rapporto delle masse; la quantità di azione rimane la stessa; e ciò che si guadagna in forza si perde in tempo, o inversamente. Se prendete una leva e la dividete partendo dal suo punto di appoggio in braccia assai disuguali, una piccola forza applicata al braccio lungo, metterà in moto una resistenza assai più grande applicata al braccio corto. Ma lo spazio che la prima dovrà percorrere e quindi il tempo che impiegherà, sarà tanto più grande quanto il braccio con cui la forza agisce supera quello cui è attaccata la resistenza. E quando anche il peso proprio non avesse rotto il braccio di leva con cui voleva Archimede sollevare la terra, oh sarebbe stato pur lento il movimento che avrebbe ottenuto! Nel caso di equilibrio delle macchine si vede una piccola forza contrabilanciare ed apparentemente distruggere una grande resistenza, come nella leva: ho detto apparentemente, perchè il punto d'appoggio è quello che sopporta tutta la parte di resistenza che non è uguale alla forza. In somma in una macchina in equilibrio il punto d'appoggio è sempre una potenza che agisce in senso opposto, ed è uguale alla risultante della forza e della resistenza.

Aggiungerò ancora una parola sulla forza animale, e sulla applicazione di questi principj ai movimenti muscolari. La forza animale è misurata alla meglio con istrumento immaginato da Regnier e chiamato *Dinamometro*. Consiste esso in una molla ellittica di acciaio, a cui un quadrante è unito stabilmente e che porta nel suo centro una leva falcata, un braccio della quale serve per indice e scorre sulla graduazione, e l'altro è attaccato ad una estremità dell'asse minore della molla medesima. È evidente che stringendo la molla colle mani, applicate all'estremità dell'asse maggiore, s'accorcia l'asse minore, e porta seco il braccio della leva falcata, e l'indice intanto segna una certa deviazione sull'arco. L'esperienze fatte con questo strumento ci danno la misura della forza animale nei diversi modi in cui può esercitarsi. L'uomo stringendo colle mani, fa uno sforzo equivalente ad un peso di 50 chilogrammi, curvandosi alquanto può sollevare un peso di 130, tiene in equilibrio stando perfettamente diritto un peso di 150, e tirando esercita uno sforzo equivalente ad un peso di 50 chil. In molte circostanze si aggiunge utilmente il peso del corpo alla forza che esercita. Queste misure sono medie di un gran numero di esperienze fatte sull'uomo nel massimo grado del suo vigore.

Diciamo in fine della meccanica muscolare. Le ossa si riguardano generalmente

come leve, ed ecco in che guisa. I muscoli sono presso che tutti impiantati in modo da portare l'osso verso il punto in cui si trova fissata la sua estremità opposta. Il movimento determinato dalla contrazione richiederà tanto meno di forza, quanto meno sarà obbliqua l'inserzione del muscolo sull'osso mobile: se fosse normale questa inserzione non vi avrebbe perdita di forza; ma essendo obbliqua la forza si scompone in parte. Le ossa sono fornite all'estremità di un rigonfiamento, al disotto del quale si attaccano i muscoli. in questa guisa si esercita quasi normalmente, senza che per questo il muscolo e quindi il membro presentino un enorme volume. L'effetto di una contrazione muscolare dipende dalla distanza fra il punto di appoggio su cui l'osso si muove, e il punto di attacco del muscolo e dell'altra estremità dell'osso. Generalmente nell'economia animale trovasi che le ossa sono leve di terzo genere, e che il braccio della resistenza è assai più lungo di quello della potenza; dal che si vede che la Natura volle la rapidità dei movimenti a spese della forza impiegata a farli. Così è che facendo stendere un braccio teso, se l'inserzione del muscolo si sposta di tre pollici per secondo l'estremità del membro s' allontana dalla sua posizione con una velocità di circa tre piedi per secondo.

LEZIONE VII.

Gravità. — Direzione di questa forza. — Centro di gravità. — Equilibrio dei corpi gravi.

Il piano che ci siamo fatti fin dal principio di questo Corso, ci condure oggi a cominciare lo studio di quelle grandi forze, che o agendo permanentemente sulla materia o sviluppate sotto condizioni particolari determinano il vario stato della medesima e i cambiamenti passaggieri che in lei avvengono. I principi di Meccanica razionale che ho premesso allo studio delle forze naturali, ci serviranno a comprendere gli effetti i più semplici, i più generali di queste forze. Verrà il giorno, in cui generalizzate le osservazioni, fatte più semplici le teorie, vedremo la Fisica ridursi, come già fu dell'Astronomia, ad un gran problema di Meccanica razionale; posciachè quanto sieno svariati i cambiamenti che noi vediamo prodotti dalle diverse forze, dobbiamo alla fine considerarli nel maggior grado di semplicità come fenomeni di movimento e quindi del genere delle quantità matematiche. Certo egli è che correrà lungo tempo innanzi che ci sia dato di vedere le parti tutte della scienza toccare quest'apice: nondimeno ancorchè ci convenga tuttavia studiare fatti assai più composti, dobbiamo condurre lo studio con tale intendimento da mirare a quel sublime scopo. La prima delle dette forze, la più generale, la più varia nei suoi effetti è l'*attrazione*, ed è appunto da questa che noi cominceremo. Io non mi farò qui a darvi la storia della scienza, nè vi ripeterò quindi la serie tutta degli sforzi fatti dai Fisici prima di giungere a bene stabilire le leggi di questa forza. E solo mi limiterò a notare che i fenomeni celesti, quantunque i primi ad essere studiati, rimasero lungamente sotto il dominio del pregiudizio e dell'ipotesi, e che è dovuto a Keplero la scoperta delle leggi del movimenti dei corpi celesti, ed al genio di Newton l'aver tratto da queste leggi la legge universale che tutte le spiega, a cui obbedisce la materia, e che basta sola a conservare nell'ordine stabilito tutto il sistema dell'universo. Noi non dobbiamo studiare l'attrazione come la causa del movimento dei corpi celesti: spetta all'Astronomia questo studio. Per noi l'attrazione rappresenta 1. la *gravità*, 2. la causa che in lotta colla forza repulsiva, che studieremo nel Calorico, determina i diversi stati della materia, e in generale tutti i fenomeni dovuti alla costituzione molecolare dei corpi.

Uno dei fatti più generali che si presentino all'uomo meno osservatore, è quello della caduta dei corpi abbandonati a loro stessi. Che se ve ne ha alcuni che sfuggono apparentemente a questa azione generale, ci sarà facile di dimostrarvi, lo vedremo in seguito, che non ne risentono l'azione meno di tutti gli altri. La causa generale e costante che produce la caduta dei corpi, è quella che noi abbiam chiamata *gravità*. Nè il fenomeno della caduta dei corpi sarà il solo che vedremo doversi attribuire a questa forza: i movimenti dei liquidi, il loro equilibrio, quello dei corpi che vi galleggiano sopra, non sono che effetti vari di questa stessa forza; studiando adunque la gravità ci occuperemo 1.° a bene stabilirne la direzione; 2.° a cercare il punto d'applicazione della sua resultante nel corpo su cui opera; 3.° a determinare le leggi con cui agisce; 4.° a mostrare la sua dipendenza dall'attrazione universale, di cui vedremo non essere che una forma, un modo speciale di agire.

Per determinare la linea secondo la quale

la gravità agisce, basta osservare un corpo che cade, e fissarne la traccia. Un corpo sospeso ad un filo, un *filo a piombo*, come si dice, ci traccia la linea che cerchiamo, e che si chiama comunemente la *verticale*. È però necessario un piano fisso cui riferire questa verticale, ond'esser certi della invariabilità di questa linea del filo a piombo: senza di ciò niente ci assicurerebbe che questa linea non avesse da un momento all' altro cambiato: e quand' anche noi riportassimo questa linea verticale alle linee d'un edificio, d' una montagna, non avremmo perciò una sicurezza maggiore, poichè tutto è instabile intorno a noi. La superficie delle acque del mare ci offre nella sua direzion generale il piano più stabile che possa aversi sulla terra. Si faccia astrazione dalla mobilità varia, e parziale della sua superficie; noi vedremo più innanzi che la direzione della gravità è necessariamente perpendicolare alla superficie delle acque, e quando la direzione della gravità cangiasse, il piano delle acque cangerebbe ancora, e l'equilibrio non sarebbe ristabilito se non che ritornando queste acque colla loro superficie perpendicolare a questa direzione. Le acque dei laghi, quelle raccolte in grandi vasi, la stessa superficie della terra fatta idealmente col prolungamento di quella delle acque del mare, sono tanti piani perpendicolari al filo a piombo. Risulta da questi principi fondamentali, che le direzioni della gravità nei diversi punti concorrono al centro della terra, perchè tutte le perpendicolari ad una superficie sferica concorrono al suo centro: egli è dunque ingiusto di dire, rigorosamente parlando, che queste direzioni sono parallele; ma non è meno certo che avuto riguardo alla grande lunghezza del raggio terrestre rispetto alle distanze che noi consideriamo, possono senza errore riguardarsi tali. A cento tese di distanza due fili a piombo farebber fra loro un angolo di più di sei secondi. Per un corpo adunque, per quanto esteso noi lo abbiamo, le direzioni della gravità che opera sopra i diversi suoi punti sono rigorosamente parallele. È giusto però ch'io faccia osservare che la verticale rappresenta la direzione della gravità, cioè la linea per cui cadono i corpi, quando si prescinda dal movimento della terra intorno al proprio asse; e noi lo possiamo fare senza errore, giacchè l'influenza di questo movimento non si rende sensibile che facendo cadere i corpi da grandi altezze. La velocità di rotazione che hanno tutti i corpi comune colla terra è varia alle diverse altezze: le molecole dell'aria che sono ai limiti dell' atmosfera hanno una velocità effettiva di rotazione ben più rapida che le molecole che toccano la superficie della terra; ed è certo che cadendo, oltrepasserebbero il punto della terra su cui cade la loro verticale, di una quantità eguale alla differenza degli spazi percorsi nella durata della loro caduta dal punto di partenza che si considera e dal piede della sua verticale: cadrebbero così avanzate verso l'oriente. Questa conseguenza del moto di rotazione della terra indicata da Newton, fu in questi ultimi tempi verificata da Reich nelle miniere di Freyberg. Questo Fisico fece cadere in un tubo di legno lungo 168 metri e di 18 pollici di diametro, diversi corpi, ed ottenne per media di 106 esperienze una deviazione verso l'oriente dalla verticale del punto di partenza, di 28,396 millimetri, numero poco diverso da 27,512 indicato dalla teoria. Lo ripeterò dunque: l'influenza del movimento di rotazione della terra ad alterare la direzione della gravità dalla verticale, è nulla, almeno per quelle altezze che ci occorre di considerare.

Passiamo ora a determinare il punto in cui la risultante della gravità è applicata in un corpo. Ogni punto materiale di un corpo soffre l'impulso della gravità, e questi impulsi dobbiamo rappresentarceli come un sistema di forze parallele. Noi lo abbiamo imparato: un sistema di forze parallele è rappresentato da una risultante, e v'è un punto per cui passa questa risultante, in cui si considera applicata. Il centro delle forze parallele è pei corpi sottoposti all'azione della gravità, ciò che noi chiamiamo *centro di gravità*. La scoperta di questo punto semplifica assai lo studio dell' equilibrio dei corpi gravi. Basta per distruggere l' effetto della gravità sopra un corpo, applicare una forza nella direzione trovata, e precisamente al suo centro di gravità, e in senso contrario a questa forza. Risovvenitevi della proprietà che abbiamo stabilita per la posizione del centro delle forze parallele, che cioè questo centro è indipendente dalla direzione delle forze, e questa stessa proprietà deve perciò appartenere anche al centro di gravità. Sospendete un corpo ad un filo, reggetelo sopra un punto di appoggio, non cadrà nè in un caso nè nell'altro, e perciò il centro di gravità sarà nella verticale al punto di appoggio o nella linea del filo cui è sospeso. Se non possiamo cangiare la direzione della gravità, possiamo però sospendere il corpo per un altro punto, appoggiarlo diversamente, ed anche in questo secondo caso il centro di gravità e il punto di appoggio saranno sulla stessa verticale. Chiaro è perciò, che il centro di gravità del corpo sarà determinato dal punto d' intersezione

di queste due linee. Per tutti i corpi omogenei e che hanno forme regolari, il centro di gravità è determinato da considerazioni geometriche assai semplici. Si immagini in un corpo omogeneo un sistema di linee parallele tirate per tutto il suo volume, e delle quali i punti di mezzo sieno tutti in un istesso piano;è certo che il centro di gravità si troverà in questo piano. Immaginando due altri piani che soddisfino a queste stesse condizioni, il centro di gravità sarà necessariamente nel punto d'intersezione dei tre piani, che passano per i mezzi delle linee che formano i tre sistemi. Si deduce da ciò che il centro di gravità di un circolo o di una sfera è al suo centro; che quello di un triangolo è sulla linea condotta da uno dei vertici alla metà del lato opposto e ai due terzi della linea stessa partendo dal vertice; che quello di un parallelogrammo è al punto d'intersezione delle due diagonali; quello di una piramide o di un cono è sulla linea condotta dal vertice al centro di gravità della base e al quarto di questa linea partendo dalla base; che infine il centro di gravità di un prisma è alla metà della linea che congiunge i centri di gravità delle due basi.

Vediamo ora le condizioni di equilibrio dei corpi gravi. Queste condizioni si riducono ad una sola, che cioè il *centro di gravità sia sostenuto*. Questa condizione può venir soddisfatta in diversi modi, secondo che il corpo è sospeso ad un punto fisso o posa sopra un punto di appoggio. Vedete questo circolo di legno, che è in equilibrio tutte le volte che per il suo foro centrale fo passare un pernio, o un asse qualunque: in questo caso il centro di gravità coincide coll'asse, o punto fisso, e l'equilibrio sussiste qualunque sia la posizione del circolo, perchè il centro di gravità è in tutte queste ugualmente fisso: un tal equilibrio chiamasi *indifferente*. Se infilo il circolo per un foro superiore al centro di gravità, l'equilibrio dicesi *stabile:* infatti variando la posizione del circolo, il centro di gravità che tende sempre a discendere, lo rimette nella posizione di prima, e la forza che è necessaria per allontanarlo dalla sua posizione, che è quella stessa con cui è animato a ritornarci, è tanto più grande, quanto più il centro di gravità si trova al di sotto dell'asse. Se l'asse è al disotto del centro di gravità, anche in questo caso il circolo può essere matematicamente in equilibrio, purchè il centro di gravità si trovi nella verticale dell'asse; ma in questo caso l'equilibrio è *instabile*, perchè al momento in cui il centro di gravità è portato fuori di questa verticale, il circolo descrive una mezza circonferenza, e s'arresta solo quando il centro di gravità è ricondotto al di sotto dell'asse di sospensione. È dunque necessario per la stabilità dell'equilibrio di un corpo grave, che il suo centro di gravità si trovi sempre nel punto più basso possibile.

Con questo principio fondamentale dell'equilibrio dei corpi gravi, può spiegarsi una infinità di fenomeni. Questo doppio cono riunito per le due basi e che scorre sopra due aste di legno riunite ad angolo ed inclinate verso il suo vertice, portato al punto più basso, e abbandonato, vedesi salire. Osservate la posizione del centro di gravità; questo punto discende costantemente. Un altro esempio dei due equilibri, stabile ed instabile, può aversi costruendo una palla di cui una metà sia fatta di legno dolce e l'altra metà di metallo, o di legno più duro. Una sfera così costruita non ha il suo centro di gravità, come avrebbe se fosse omogenea, al suo centro; si trova in questo caso portato dentro alla metà fatta dalla materia più densa, come se questa appartenesse ad una sfera assai più grande. L'equilibrio è instabile allorchè la palla tocca il piano coll'emisfero di legno dolce, ed è stabile nel caso contrario.

Allorchè i corpi riposano sopra una base più o meno larga è necessario per l'equilibrio che la verticale del centro di gravità cada nel perimetro di questa base. Le torri inclinate si reggono dando loro una base assai larga, e tenendo basso il centro di gravità di tutto il sistema con muri più grossi al loro piede. È così che si ottiene che la verticale del centro di gravità cada dentro alla base, e in generale la stabilità di un corpo che posa sopra una base è tanto più grande, quanto più la verticale del centro di gravità cade verso il mezzo di questa.

Le condizioni d'equilibrio dei corpi gravi da noi date suppongono i corpi perfettamente rigidi, e le molecole loro in uno stato di assoluta immobilità. Concepite un filo di vetro, d'acciaio, d'una sostanza qualunque purchè molto sottile, posto per il suo mezzo sopra un punto di appoggio, il suo centro di gravità sarà in questo caso sostenuto, ma il filo s'inclinerà nelle due braccia e tanto più, quanto più le estremità avranno di massa. Un albero non cade finchè il suo centro di gravità si trova nella verticale che cade nel recinto compreso dalle radici; ma i rami si piegano, e qualche volta lo stesso tronco si schiaccia. L'azione della gravità non cessa mai di farsi sentire sopra tutte le parti di un corpo, e per distruggerla in tutti i punti con una forza applicata al centro di gravità, converrebbe supporre che le molecole dei corpi fossero invariabilmente fissate l'una coll'altra.

Le considerazioni da noi fatte sul centrò di gravità ci portano ad esaminare l'influenza di questo punto sul moto del corpi. Allorchè una forza agisce sopra di un corpo applicata al suo centro di gravità, il movimento del corpo dicesi di *trasporto parallelo*; ed infatti tutti i suoi punti rievono in questo caso un' egual porzione della forza, e in direzioni tutte parallele. Se la forza motrice in vece di passare per il centro di gravità trovasi applicata in un altro punto del corpo, s'intenderà facilmente che non potrà più accadere il movimento di prima : se ciò fosse si avrebbe una risultante che non potrebbe passare che pel centro di gravità, mentre in vece noi supponiamo che la forza sia applicata altrove. Sarà questo secondo caso quello di due forze applicate a due punti di una verga invariabile, una delle quali è la forza motrice, l' altra quella che in Meccanica dicesi *forza d' inerzia*, che è dipendente dalla massa del corpo. L'equilibrio è impossibile finchè le due forze non esercitano la loro azione nella direzione della verga come nel caso della coppia. Le diverse parti del corpo avranno così una diversa velocità, e questo non può accadere senza un movimento di rotazione misto con quello di traslazione. Le componenti che fanno rotare il corpo non passano per il centro di gravità; quindi il moto progressivo è indipendente da quello di rotazione, che ha luogo come se il centro di gravità fosse un punto fisso. Spetta alla Meccanica il dare più estese e perciò più esatte cognizioni sopra questo soggetto.

LEZIONE VIII.

La gravità agisce egualmente su tutti i corpi. — Caduta dei gravi nel vuoto. — Peso. — Masse proporzionali ai pesi. — Bilancia. — Peso specifico.

Dopo avere stabilita la direzione in cui si esercita la gravità, dopo aver fissato il punto di applicazione di questa forza nei corpi e dedotte da ciò le condizioni generali dell' equilibrio dei corpi gravi, ci conviene esaminare le leggi con cui agisce. È al genio di Galileo che noi dobbiamo tutto quello che si sa in questa parte. Se si fanno cadere dalla stessa altezza dei corpi di diversa massa sotto lo stesso volume, o di volume diverso sotto la stessa massa, si veggono acquistare una diversa velocità, ed impiegare un diverso tempo per cadere. Galileo il primo osservando questi fenomeni, dubitò che le differenze di velocità acquistate dai diversi corpi dipendessero dalla presenza dell' aria. Fece perciò costruire palle tutte eguali di diversi metalli, oro, piombo, argento ec., e tutte le abbandonò nello stesso tempo dall' alto della nostra Torre. Osservò che tutte cadevano quasi nello stesso tempo, e concluse che le differenze osservate adoprando corpi di diversa forma, dipendevano dalla resistenza dell' aria, che distruggeva inegualmente parte dell' energia della forza. Questa conclusione venne in seguito confermata con esperienze più esatte e concludenti. Voi vedete qui un lungo tubo di vetro, che contiene corpi di diversa forma, massa e natura, dal quale posso estrarre con una macchina, che più innanzi vi descriverò, quasi interamente l'aria che racchiude. Mentre capovolgo rapidamente il tubo, fate attenzione ai corpi che cadono: li vedrete giunger tutti ad un tempo al basso del tubo. Lascerò rientrare l'aria, e ripetendo l'esperienza vedrete alcuni dei corpi cader prima degli altri. Se immaginate che in luogo di aria vi fosse acqua nel tubo, l'esperienza avrebbe dei resultati anche più manifesti; alcuni di questi corpi appena romincerebbero a scendere. Un' esperienza assai semplice di M. Prevost ci prova lo stesso fatto. Voi vedete questi due dischi, uno di metallo e uno di carta, di eguali dimensioni: facendoli cadere dalla stessa altezza osserverete che quello di metallo cade assai prima dell'altro; ma se in vece lo sovrappongo al disco di metallo quello di carta e così disposti li fo cadere, cadono senza distaccarsi, perchè in questo caso la resistenza dell'aria è tolta al disco di carta. Osservate ancora questo tubo di vetro, detto *martello filosofico*, terminato in due palle contenenti un poco d'acqua, il quale fu chiuso dopo averne estratta l' aria. Sentite nel capovolgerlo un colpo secco; è l'acqua che cade dall' una all'altra estremità tutta in una massa. Eppure ognun di voi avrà visto che ogni zampillo d'acqua che cade, si *sparpaglia*, si divide in gocce. Tutte queste esperienze non lasciano alcun dubbio, ed è evidente la conclusione: *la gravità agisce egualmente sopra tutti i corpi*. Tolta la resistenza dell' aria, fatti cadere i corpi nel vuoto, impiegano tutti lo stesso tempo per cadere da una stessa altezza, la velocità è per tutti la stessa. Una conseguenza della maggiore importanza deducesi immediatamente da questi fatti. Agendo la gravità egualmente sopra tutta la materia, comunicando la stessa velocità ad una

molecola, come ad un gran numero di queste, ad una molecola di un corpo come a quella d'un altro, ne viene che la forza *risultante* la quale in Meccanica chiamasi anche forza *motrice*, deve essere *proporzionale alle masse*. Perchè una massa doppia abbia la stessa velocità dell' unità di massa, bisogna che la forza pure sia doppia. Un corpo che ha 100 volte più massa, sente 100 volte l'azione della gravità; ma la velocità non è cangiata, perchè anche la massa da mettersi in moto è divenuta più grande, e precisamente quanto la forza. L'azione della gravità sopra un corpo può dunque rappresentarsi per un sistema di forze parallele, e tutte eguali d' intensità; la risultante di questa azione che noi abbiamo trovata applicata al centro di gravità, e nella direzione della sua verticale, deve essere ancora eguale alla somma di queste forze, che sono tante quante le molecole del corpo. Se noi chiamiamo F questa forza resultante, è chiaro che detta g la forza della gravità sopra l'unità di massa, ed M la massa totale del corpo, la risultante, o forza motrice sarà espressa dal prodotto g M. Questa forza elementare g che è l' azione della gravità sopra la molecola di un corpo, noi lo abbiamo visto, è indipendente dalla loro natura, è un termine costante per ogni dato punto della terra. Possiamo quindi concludere, cangiando espressione: *la risultante della gravità è proporzionale alla massa*. Questa risultante dell'azione della gravità sopra un corpo, che siamo costretti a distruggere per impedirne l'effetto, che ci rappresenta la pressione dei corpi gravi contro gli appoggi, lo sforzo contro gli ostacoli che ne impediscono la caduta, chiamasi comunemente *peso*.

Ci sarà facile ora d'intendere come operi la presenza dell' aria nel far variare il movimento dei corpi che cadono.

Ogni corpo immerso nell'aria ed in equilibrio in questa, perde, come vedremo in seguito, una porzione del suo peso eguale al peso di un volume d'aria simile al suo; dal che ne viene che corpi della stessa massa perdono tanto più del loro peso, quanto è più grande il loro volume. Questa perdita di peso, che è l'effetto d' una forza esercitata in senso contrario al peso del corpo, può giungere secondo la densità relativa del corpo e dell' aria, o mezzo qualunque in cui è immerso, sino a distrugger l' effetto della gravità. Ma più di questa causa influisce la resistenza dell' aria: ricordatevi che questa resistenza è movimento comunicato, è forza perduta da una parte, acquistata dall'altra. Se corpi di diverso peso incontrano la stessa resistenza avendo lo stesso volume, è certo che assai più di forza rimarrà a quelli che pesano maggiormente, e quindi una velocità maggiore: nello stesso modo che di due palle in moto, di diversa massa e dotate della stessa velocità, se vengono ad urtare contro un' egual massa, la più grande conserva, dopo l'urto, una maggiore velocità.

D'altronde questa resistenza varia colla velocità, colla forma e coll' estensione della superficie del corpo che cade. Chi non vede che una foglia d'oro dovrà cadere con assai minor velocità di un grano d'oro che abbia la stessa massa?

Dopo ciò che noi abbiam detto della risultante dell'azione della gravità, dobbiamo aggiungere come condizione per l'equilibrio dei corpi gravi, che l' ostacolo o punto di appoggio, o meglio ancora la forza applicata in senso contrario alla risultante, deve esserle eguale in intensità, e perciò eguale al peso del corpo cui fa equilibrio. Non basterà perciò, per l' equilibrio di un corpo grave, che l'ostacolo si trovi nella verticale del centro di gravità; bisognerà altresì che quest' ostacolo rappresenti una forza eguale alla somma delle forze parallele, e quindi al peso. In fatto un filo sottile di seta fisso con una estremità, non regge una grossa palla di piombo, benchè il centro di gravità di questa sia nella verticale del punto fisso: il peso della palla vince la resistenza del filo.

Se le masse sono proporzionali ai pesi, noi potremo dedurle da questi; la determinazione della massa di un corpo interessa grandemente. Potremo, considerati i pesi come forze motrici, confrontare quelli dei diversi corpi con una unità di peso, e stabilirne così le differenze. Potremo anche dedurre dal peso un carattere importante per la costituzione dei corpi, determinando le densità, cioè i pesi relativi sotto lo stesso volume.

Determinare il peso di un corpo è trovare di quante unità di peso egli sia composto. Anche questa unità deve soddisfare a quelle stesse condizioni d'invariabilità e di generalità che abbiam trovate necessarie per l'unità lineare. L'unità di peso adottata oggi generalmente, è chiamata *grammo*, è il peso nel vuoto di un centimetro cubo di acqua distillata, alla temperatura di 4 gradi. Si usano anche delle unità submultiple chiamate *decigrammi*, *centigrammi*, *milligrammi*, contenenti 1/10, 1/100, 1/1000 di grammo; e delle unità multiple formate di dieci, cento, e mille grammi, sotto il nome di *decagrammi*, *ectagrammi*, e *chilogrammi*. Un grano equivale dal 50 al 60 milligrammi circa, secondo la diversa libbra o

oncia di cui è frazione. Gli apparecchi che servono a pesare chiamansi *bilance*. La bilancia consiste (*Fig.* 12) in una leva di primo genere a braccia uguali, formata da un'asta metallica mobile intorno ad un punto centrale, e alle due estremità della quale sono sospesi due bacini destinati a ricevere i due pesi di cui si vuo'o ottenere l'equilibrio. Uno di questi bacini porta il corpo, l'altro le unità di peso. La costruzione della bilancia deve soddisfare a certe condizioni per esser giusta e sensibile nelle sue indicazioni. L'uguaglianza delle due braccia è la più importante fra queste, senza di che il peso di un corpo non può più essere rappresentato dai grammi che gli fanno equilibrio nell'altro bacino, essendo fra loro questi pesi in ragione inversa dei bracci. Dobbiamo all'ingegnoso Borda un metodo detto della *doppia pesata*, e che dà giustamente il peso di un corpo, sieno o no eguali le braccia della bilancia. Consiste questo metodo nell'equilibrare il corpo con piombo, o con altro corpo qualunque, poi nel ritirare il corpo e rimettere nel suo posto tanti grammi e frazioni di grammo quanti ne sono necessari per ristabilire l'equilibrio. Le unità di peso rimpiazzano il corpo sullo stesso bacino, e l'ineguaglianza delle braccia non può avervi influenza. La sensibilità di una bilancia si desume generalmente dalla piccolezza del peso capace di far traboccare uno dei bacini, essendo già caricata del maggior peso possibile. Si costruiscono oggi bilance che cariche di un chilogrammo sopra ogni bacino, traboccano ad un milligrammo aggiunto in uno. La costruzione della bilancia deve però sempre adattarsi alle cariche che è destinata a portare, giacchè queste misurano la rigidità e quindi la grossezza che conviene dare all'asta. Costruendo quest'istrumento con asta o bacini estremamente leggieri, si rende sensibile a pesi estremamente piccoli. Un'altra condizione per la bontà della bilancia è che il suo equilibrio sia stabile: ed infatti se il centro di gravità coincidesse coll'asse di rotazione o punto di appoggio, l'equilibrio sarebbe indifferente e la bilancia si troverebbe in equilibrio in tutte le posizioni, e spostata non potrebbe mai da se rimettersi nella sua posizione. Se il centro di gravità fosse al di sopra del punto d'appoggio, allora il centro di gravità cadendo dal lato del bacino caricato, obbligherebbe la bilancia a discendere interamente, e questo accadrebbe per il più piccolo peso; la bilancia diventerebbe, come dicesi comunemente, *folla*. Infine se il centro di gravità trovasi situato al disotto del punto di appoggio, allora all'inclinarsi dell'asta il centro di gravità passa dalla parte che si solleva, per cui la bilancia tende a rimettersi nella sua primitiva posizione. Perchè però la bilancia così costruita trabocchi ad un piccolo peso non deve il centro di gravità essere troppo al disotto dell'asse di rotazione, giacchè il momento della forza che tende a ricondurlo, cresce con questa distanza, od è uguale allo sforzo necessario a spostarlo. I punti di sospensione dei bacini devono essere o nella stessa linea dell'asse, o meglio anche un poco al disopra. In questo caso si accresce la sensibilità della bilancia per le cariche forti, non scendendo tanto il centro di gravità al disotto del centro di rotazione. La durezza e il pulimento del piano su cui posa il coltello di sospensione dell'asta, l'angolo molto acuto senza esser vivo, e la durezza della materia di questo coltello, fanno sì che il suo contatto col piano non cambi e provi il meno attrito possibile. Si costruiscono le bilance in modo, che nel solo momento di pesare, il piano d'appoggio tocchi il coltello, e ciò si fa sostenendo l'asta in riposo sopra due braccia fisse nella colonna a guisa di forca, e nel momento del pesare il piano di appoggio è innalzato, e va a sollevare il coltello: in tal guisa è distrutta l'aderenza e il maggiore attrito, che nascerebbero lasciandoli sempre a contatto. Si fa l'asta inflessibile o grossa per conseguenza, dentro il limite della carica che si vuol far portare alla bilancia. I due bacini s'attaccano all'asta per mezzo di uncini che entrano in anelli, i quali sono portati come l'asse dell'asta. La differenza però di questi punti di contatto dei bacini sta in questo, che si fanno con spigoli smussati, e si riesce così ad ottenere che il centro di gravità di ogni bacino e del peso, si metta liberamente nella verticale del punto di appoggio, per cui rimane invariabile la sua distanza dal punto di sospensione nel mezzo dell'asta. S'aggiunge infine un ago assai lungo all'asse di rotazione, il quale serve ad indicare sopra un quadrante fisso alla base, i più piccoli cambiamenti d'inclinazione dell'asta, e a misurare l'ampiezza delle oscillazioni.

Il peso di un corpo può anche essere determinato a fine di stabilire la densità che noi abbiamo già visto dedursi dal rapporto fra la massa o peso, e il volume del corpo. Questo rapporto costituisce pel corpo una proprietà costante e generalmente caratteristica. Un centimetro cubo di acqua pesa in tutti i paesi del mondo un grammo; un centimetro cubo di ferro pesa 7 grammi e otto decigrammi in qualunque modo si sia ottenuto, qualunque sia la miniera da cui fu estratto; un centimetro cubo d'oro pesa 19 grammi e 258 milligrammi costantemente.

Il peso sotto un volume dato, cioè a dire la densità o *peso specifico*, o *gravità specifica* è una proprietà costante nei corpi, purchè sieno presi alla stessa temperatura, senza di che il volume sarebbe assai vario come vedremo più innanzi. Bastano queste definizioni per poterne dedurre 1. che a volume eguale le densità dei corpi sono proporzionali ai loro pesi; 2. che a peso eguale le densità sono in ragione inversa dei volumi; 3. che la densità può sempre esprimersi per il rapporto del peso al volume, cioè con $\frac{P}{V}$. Onde ottenere le densità o pesi specifici dei corpi basta determinare il loro peso assoluto sotto uno stesso volume, e trovare il rapporto di questo peso con quello di un corpo preso per unità. Pei corpi solidi l'unità si riferisce all'acqua, e all'aria pei corpi gassosi: così 17, 258 è il peso specifico dell'oro perchè è il peso di un centimetro cubo d'oro, mentre 1 è il peso di un egual volume d'acqua. In generale si chiami P il peso assoluto di un volume qualunque di acqua, P' il peso assoluto di un egual volume di qualsiasi corpo: è chiaro che il peso specifico del corpo si avrà dalla proporzione

$P : P' :: 1 : X = \frac{P'}{P}$. Vedremo in seguito che v'è un modo estremamente semplice per determinare il peso di un volume di acqua eguale a quello di un corpo solido. Pei corpi liquidi e gassosi si hanno i pesi specifici pesando eguali volumi di questi diversi corpi, ciò che è sempre facile a farsi.

LEZIONE IX.

Leggi della caduta dei gravi. — Descrizione e principio della macchina d'Atwood. — Esperienze colla stessa macchina. — Formole del moto dei gravi. — Moto uniformemente ritardato.

Dopo aver provato che tolta la resistenza dell'aria tutti i corpi, qualunque sia la loro massa e natura, cadono colla stessa velocità, dobbiamo ora cercare coll'esperienza qual'è questa velocità con cui cadono i corpi pesanti, o, ciò che torna lo stesso, quale è il rapporto che esiste fra lo spazio percorso da un corpo che cade e il tempo che impiega. Questo rapporto è la legge del movimento impresso dalla gravità ai corpi. Egli è facile vedere che non c'è consentito di determinare in un modo diretto questa velocità: un corpo che cade acquista dopo pochi secondi tanta accelerazione di movimento, che è impossibile di determinare gli spazi che percorre. Due mezzi indiretti riescono però a darci questa legge in un modo assai evidente. Uno di questi, e il più semplice, è il piano inclinato di Galileo; l'altro, assai più rigoroso, è la macchina di Atwood. Il piano inclinato di Galileo non è che una corda lunga 20, o 30 piedi e che si tende fra due punti fissi, uno dei quali è più alto dell'altro. Una piccola carrucola di metallo convenientemente disposta scorre sopra la corda. È evidente che lasciata la corda orizzontale, la carrucola non si muoverebbe, e nullo sarebbe l'effetto della gravità: all'incontro tenendo la corda perfettamente verticale, la gravità agirebbe liberamente come se la corda non esistesse; dando alla corda una certa inclinazione, la gravità non opera sulla puleggia che ridotta in una certa proporzione. Noi vedremo più innanzi come si trovi il valore della gravità per un corpo che si muove sopra un piano inclinato: per ora ci limiteremo ad osservare che qualunque sia il rapporto nel quale una forza è diminuita, non si cambia perciò il rapporto degli spazi percorsi in dati tempi. Se la forza agisce istantaneamente sul corpo, si può variare in mille maniere la sua intensità; il moto che ella produce si conserverà sempre uniforme; se è una forza continua, diminuendone l'intensità diventerà più piccolo lo spazio percorso nell'intervallo infinitesimo di tempo, ma il moto sarà sempre uniformemente vario; quindi la legge che ci darà il rapporto fra gli spazi percorsi dalla puleggia che cade scorrendo sopra la corda inclinata, ed i tempi che impiega a percorrerli, sarà la legge della gravità. L'attrito, l'incurvarsi della corda ec., rendono questo mezzo non abbastanza esatto. Voi vedete però che abbandonando la puleggia nell'istante in cui l'orologio batte il secondo, al battere degli altri secondi ha percorso spazi sempre maggiori. Questo esperimento quantunque imperfetto, nullameno ci prova che la gravità è una forza acceleratrice, e quindi continua. La macchina d'Atwood è assai più esatta. Vedete in che consiste (*Fig.* 16). È una carrucola A B perfettamente mobile, sulla quale passa un filo estremamente fino, teso alle due estremità dallo stesso peso P e P'. L'equilibrio esiste quando i due pesi sono alla stessa altezza e anche quando uno è più alto dell'altro, e ciò pel peso appena sensibile del filo. Aggiungiamo ora un pic-

col peso da un lato, e tosto l'equilibrio sarà rotto, scenderà il piccol peso seco trasportando gli altri due, uno dei quali scende col piccol peso, l'altro legato all'altra estremità del filo sale per necessità. Chiamiamo m ognuno dei due pesi o masse eguali che si fanno equilibrio: s'intenderà facilmente che il movimento che ricevono dal piccolo peso n è tutto a scapito di questo, il quale perciò cade con minor velocità di quella colla quale cadrebbe se fosse libero. Sia g la velocità dovuta alla gravità dopo un secondo di tempo, il peso n avrebbe dopo questo tempo la quantità di movimento gn. Chiamiamo ora x la velocità che prenderanno le tre masse muovendosi insieme; la quantità di movimento del sistema sarà $x\,(2m+n)$, giacchè la massa che si muove è da una parte m, dall'altra $m+n$. Ora in uno stesso secondo di tempo la gravità comunica alla massa n la stessa quantità di movimento, sia che si muova liberamente, sia che trasporti seco altre masse: avremo perciò queste due quantità di movimento eguali, e quindi $x\,(2m+n)=gn$, da cui $x=g\frac{n}{2m+n}$; è questa nella macchina d'Atwood la velocità del corpo che cade, e per conseguenza è tanto più piccola di g quanto si vuole. Supponiamo di voler ridurre questa velocità acquistata nel primo secondo di caduta libera dalla massa n ad $1/64$, non si ha che a fare $\frac{n}{2m+n}=1/64$, da cui $64\,n=2m+n$, ed $n=\frac{2m}{63}=\frac{m}{31+1/2}$; ciò che vuol dire che il piccol peso dovrà essere $\frac{1}{31+1/2}$ di m. Ecco come questa macchina è costrutta, e come si conducono le esperienze. Per evitare ogni attrito, voi vedete (*Fig.* 11) che le estremità dell'asse della puleggia riposano sopra due altre pulegge più piccole di cui gli assi terminano in perni, che girano dentro incavi d'acciaio. Per misurare gli spazi con esattezza, scorre il peso che scende lungo un regolo verticale diviso in pollici. Sopra questo regolo scorrono un anello e un piano, che possono fissarsi in un punto qualunque del regolo. Finalmente un orologio che segna i minuti secondi è unito alla macchina. Se ne costruiscono ora che portano un meccanismo assai facile a concepirsi, e che servo a sostenere, e quindi a lasciar andare, nel tempo stesso, il pendolo e la massa. Adoperando le masse citate, otteniamo nei tempi 1″, 2″, 3″ gli spazi espressi da 3, 12, 27

La conclusione di questo primo esperimento è evidente: gli spazi sono proporzionali ai quadrati dei tempi. Disponiamo l'anello al numero 12 del regolo, e adoperiamo per massa aggiunta una verghetta d'ottone che non può attraversare l'anello. Giunta in questo punto, l'anello la ritiene, e le due masse seguitano a muoversi di un moto uniforme, che vi ricordate dovere esser doppio di quello percorso nello stesso tempo con moto uniformemente accelerato. Infatti vedete che se l'anello ritiene la verghetta dopo due secondi di moto, cioè a 12 pollici, dopo altri due secondi la massa m si trova a 36, avendo così percorso nei due secondi di moto uniforme 24 pollici. Messo l'anello a tre pollici, la massa m lascia dopo un secondo la verghetta, e dopo un altro secondo di moto uniforme si trova a 9 pollici, e quindi ha percorso nel secondo tempo 6 pollici, cioè uno spazio doppio di quello percorso con moto accelerato nel primo secondo. Notate un'altra conseguenza: 6 ci esprime la velocità acquistata nel primo secondo di tempo col moto uniformemente accelerato; nell'altro esperimento in due secondi di moto accelerato, la velocità acquistata fu tale da percorrere in altri due secondi di moto uniforme 24 pollici o 12 in un secondo, ossia è doppia di quella acquistata nel primo secondo. Le leggi del moto che ci sono date dalla nostra macchina per la caduta dei gravi sono dunque: 1.° che gli spazi son proporzionali ai quadrati dei tempi, e quindi gli spazi percorsi successivamente in ogni secondo, sono rappresentati dalla serie dei numeri dispari; 2.° che le velocità crescono proporzionalmente ai tempi; 3.° che la velocità acquistata da un grave che cade, è tale, da far percorrere al corpo in un dato tempo e con moto uniforme, uno spazio doppio di quello percorso prima e nello stesso tempo. Queste leggi possono dunque esprimersi colle stesse formole che noi abbiam date pel moto uniformemente accelerato. Mettiamo in luogo di φ il valore, che vedremo esserci dato dall'esperienza per la velocità acquistata nel primo istante della caduta, valore eguale al doppio dello spazio che questa forza fa percorrere nella prima unità di tempo con moto uniformemente accelerato, e potrem risolvere tutti i problemi che riguardano la caduta di un corpo grave. Si suol esprimere con g l'azione acceleratrice della gravità nell'unità di tempo; e si ha così

$$v=gt,\; s=\frac{g\,t^2}{2},\; v=\sqrt{2gs}.$$

Vedremo più innanzi come possa preci-

samente determinarsi questo termine g coll'esperienza, e come e perchè vari nei diversi punti della terra. Per Parigi il valore di g è eguale a 9 metri, e 8088 decimillimetri. Anche la nostra macchina d'Atwood ci metterebbe in caso di giungere a questa determinazione. Tentiamo le esperienze variando i pesi aggiunti. Quando la forza era ridotta ad 1/64 si aveva nel primo secondo pollici 3, in due secondi 12, in tre 27; se si riduce la forza ad 1/32, gli spazi percorsi in uno, in due, in tre secondi, ec. saranno 6, 24, 54, ec.; — riducendo la forza a 1/128 gli spazi saranno negli stessi tempi 1 1/2 6, 13 1/2 ec. — Si vede facilmente che gli spazi percorsi sono proporzionali alle forze acceleratrici aggiunte: lo spazio percorso per l'intera azione della gravità sarà nel primo esperimento eguale a 64 volte quello percorso obbedendo alla stessa forza ridotta ad 1/64, nel secondo esperimento questo spazio sarà 32 volte quello percorso realmente colla forza ridotta ad 1/32, in fine sarà 128 volte quello percorso quando la forza è ridotta ad 1/128. Questi spazi sono 3, 6, 11/2, numeri che moltiplicati per 64, 32, 128, danno lo stesso prodotto, cioè 192 pollici, numero non molto diverso da quello che già abbiamo dato per g, e che vedremo potersi dedurre con più precise ricerche.

Tutto ciò che abbiamo detto del moto uniformemente accelerato può applicarsi al moto uniformemente ritardato, che ha luogo per un corpo spinto con una certa forza in direzione contraria a quella della gravità. Le azioni successive di questa forza agiscono continuamente onde distruggere la velocità impressa, e questa estinta, il corpo ricade come partendo dallo stato di quiete. È così che per inalzare un proiettile ad un'altezza qualunque, convien comunicargli una velocità eguale a quella che acquisterebbe per l'azione della gravità cadendo dalla stessa altezza. In questo caso le velocità del mobile tanto nel salire che nel cadere sono le stesse ad eguali altezze, e la velocità alla fine della caduta è eguale a quella che dovrà essergli comunicata all'origine del moto ascensionale. Se l'impulso iniziale è inclinato all'orizzonte, per l'azione combinata ad angolo della forza istantanea di proiezione e per quella continua della gravità, s'inalza descrivendo una curva, e cade in seguito descrivendo una curva simile. Anche in questo caso le velocità sono eguali alle stesse altezze tanto al salire quanto allo scendere, e la curva descritta, supponendo tolta la resistenza dell'aria, è una parabola ad asse verticale. In questo ragionamento abbiamo trascurata la resistenza dell'aria. Accade per questa resistenza che il proiettile giunge ad un'altezza molto minore di quella a cui giungerebbe se la velocità iniziale non fosse diminuita; ed è per la stessa resistenza che perde nello scendere una nuova porzione di forza. Ne viene che una palla di fucile, lanciata in alto e poi ricevuta al suo cadere sopra una tavola non la fora, come può fare al suo escire dal fucile.

LEZIONE X.

Caduta pel piano inclinato. — Attrito che tende ad impedirla. — Misura di questo attrito. — Considerazioni generali sull'attrito. — Caduta per le linee curve. — Pendolo.

Abbiamo visto nella lezione precedente come per mezzo della caduta dei corpi per un piano inclinato, Galileo era giunto a determinare in un modo indiretto la legge di questo movimento. La gravità agiva in questo caso comunicando al corpo una velocità minore, conservando però sempre lo stesso rapporto fra spazio e tempo come nel caso di caduta libera. Egli è facile di determinare a quanto riducasi l'azione della gravità agendo sopra un corpo che posi sopra un piano inclinato. Sia A C (*Fig.* 29) questo piano facente un angolo qualunque coll'orizzonte B C. Il corpo M sia collocato sopra questo piano. È certo che l'azione della gravità sarà in parte distrutta: si tratta ora di determinare di quanto lo sarà. La linea E G perpendicolare all'orizzonte, e diretta per il centro di gravità del corpo ci rappresenti la *gravità assoluta*, cioè quella forza con cui cadrebbe liberamente senza la presenza del piano. Col principio del parallelogrammo delle forze si risolve la E G nelle due componenti E F perpendicolare ed E H parallela al piano. La forza E F diretta contro il piano e normalmente, vi esercita una pressione, e non ha alcuna azione per far cadere il corpo lungo di esso: rimane la E H che agisce sola per far cadere il corpo, e che chiamasi *forza*, o *gravità relativa*. La somiglianza dei due triangoli A B C, E F G ci dà la proporzione E G : F G (=E H) :: A C : A B, la quale può tradursi in quest'altra: la gravità assoluta g sta alla gravità relativa g', come la lunghezza sta all'altezza del piano. Si ha per ciò la espres-

sione della componente della gravità parallela al piano, eguale a $g\ \frac{A}{L}$; A è l'altezza del piano, ed L è la sua lunghezza. Notate che il rapporto $\frac{A}{L}$ resta costante per tutta la lunghezza del piano, per cui la g' è costante come la gravità assoluta. Possiamo verificare coll' esperienza le conseguenze del valore trovato per g'. Vedete qui un apparecchio che consiste in un piano ben levigato, e di cui io posso variare l'inclinazione all' orizzonte: sopra una carrucola fissa all' estremità superiore di questo piano, scorre una cordicina unita con un'estremità ad un cilindro di marmo posato sul piano; coll'altra, che cade verticalmente, unita ad un bacino in cui metto dei pesi. Variando l' inclinazione ottengo sempre l'equilibrio variando i pesi che stanno nel bacino: così se inclino maggiormente il piano, devo aggiungere più pesi perchè il cilindro non cada. In tutti i casi d'equilibrio, confrontando la lunghezza del piano alla sua altezza, trovo sempre che il peso del cilindro sta al peso che ho nel piatto, come la lunghezza all' altezza del piano.

Mi è però d'uopo farvi osservare che nella discesa dei corpi per un piano inclinato, come in generale in ogni movimento di un corpo sopra un piano, v'è sempre una parte di forza distrutta dall'attrito. Ed appunto per mezzo del piano inclinato si è giunto a determinare il valore di questa resistenza in diversi casi. — L' apparecchio consiste (*Fig.* 36) in un piano A B mobile intorno ad una cerniera, e di cui si può variare a volontà l' inclinazione, avendosi sopra d' un arco graduato la misura dell' angolo. Posto un corpo M sopra il piano inclinato, si trova sempre una posizione, nella quale la sola resistenza o attrito distrugge l'effetto della gravità relativa, e il corpo non cade. Si determina l'angolo del piano al quale il corpo comincia a mettersi in movimento, e si calcola il valore della componente parallela al piano colla formola trovata $g\ \frac{A}{L}$, prendendo per l'angolo che mi dà i valori di A, e di L, un angolo minore di una quantità piccolissima di quello al quale il corpo ha cominciato a moversi. Sarà questa componente la misura dell' attrito. Risulta da molte esperienze di Coulomb, che in generale l'attrito è proporzionale alla pressione che il corpo esercita sul piano su cui si muove, e alla estensione della sua superficie, ed è perciò che un poliedro a facce assai disugnali si mette sempre in equilibrio sul piano per una data inclinazione, qualunque sia l'estensione della faccia con cui riposa. Il peso essendo costante, è chiaro che quando la superficie di contatto aumenta, la pressione esercitata sopra ogni punto diminuisce in ragion inversa di questa estensione, per cui rimane costante il prodotto di ogni elemento del piano per la pressione che sopporta. Coulomb ha pure dedotto da molte esperienze che l' attrito è molto minore allorchè il corpo è in moto, di quello che quando comincia a moversi dopo averlo lasciato qualche tempo in riposo. L' attrito è anche più grande fra corpi della stessa natura di quello che fra corpi di natura diversa. Infine l'attrito è assai più piccolo, allorchè ha luogo il contatto fra parti successivamente diverse di due superficie, di quello che quando i punti di contatto di una delle due superficie rimangono costantemente gli stessi. In una parola, soffre un attrito assai minore un corpo che ruota di quello che uno che striscia, e a tanto meno si riduce l'attrito, se le due superficie che si toccano si muovano contemporaneamente. È con questi principi che può intendersi il vantaggio che si ha facendo appoggiare nella macchina d'Atwood ognuna delle due estremità dell'asse della carrucola principale sopra due carrucole.

Può attribuirsi l'attrito al penetrarsi che fanno le prominenze delle due superficie che si toccano, le une nelle altre; nel qual caso s'intende che nel muoversi, debbono o rompersi queste prominenze, o sollevarsi di un poco le superficie: oltre che una specie di aderenza si produce pel contatto di due superficie, e tanto più quanto più son levigate, come più innanzi vedremo.

Aggiungerò una parola sull'applicazione del piano inclinato alle arti. È certo dopo ciò che abbiamo detto, e lo avete visto coll'esperienza, che lo sforzo necessario per sollevare ad una certa altezza un corpo sopra un piano inclinato, può ridursi assai minore del suo peso: adunque se si dà ad un piano una tale inclinazione che faccia la sua lunghezza cento volte maggiore della sua altezza corrispondente, lo sforzo da esercitarsi per muovere il corpo sul piano ed innalzarlo alla sua altezza non sarà più che 1/100 del suo peso. Si fa nelle arti una continua applicazione di questo principio. Ma la quantità del lavoro sarà realmente accresciuta? No: ricordatevi ciò che si è detto parlando dell' effetto delle macchine. La strada percorsa sul piano con una forza eguale ad una centesima parte del peso del corpo, è cento volte più lunga dell' altezza del piano; e in realtà il peso non si solleva che di questa altezza.

La caduta dei corpi pel piano inclinato,

ci conduce naturalmente al caso della caduta per linee curve. Vediamo come: risulta dalla espressione della gravità relativa $g \frac{A}{L}$, che la velocità che un corpo ha all'estremità inferiore del piano, è eguale a quella che acquisterebbe cadendo liberamente per la verticale dall'altezza del punto di partenza. Difatti risovvenitevi dell'espressione della velocità nel moto uniformemente vario, la quale è $v = \sqrt{2\,g\,s}$. Mettasi in luogo di g il valore della gravità relativa che abbiamo trovato, e in luogo di s la lunghezza L del piano, che è lo spazio percorso in questo caso, e si avrà

$V = \sqrt{2\,g\,L}$, ciò che significa che la velocità acquistata cadendo per la lunghezze del piano inclinato, è la stessa di quella acquistata cadendo per l'altezza del piano. Immaginatevi ora una serie di piani inclinati disposti in modo che l'angolo fatto fra un piano e il successivo, differisce di una quantità infinitamente piccola da 180°: la perdita di velocità nel passaggio da piano a piano potrà considerarsi infinitamente piccola, per cui la velocità acquistata dal corpo cadendo per una serie di piani inclinati contigui, sarà eguale a quella che acquisterebbe cadendo per la verticale che misura l'altezza comune di tutti i piani. Gli elementi successivi di una curva qualunque continua possono riguardarsi come un complesso di un numero infinito di piani infinitesimi, inclinati fra loro in modo che l'angolo fra la direzione del primo elemento e quella del secondo, sia minore di 180° di una quantità infinitesima. Non vi sarà perciò che una perdita infinitamente piccola di velocità nel passaggio dal primo elemento al secondo, e il corpo acquisterà cadendo per un arco qualunque la velocità stessa che acquisterebbe cadendo per l'altezza verticale compresa fra le due estremità dell'arco. Accadrà perciò di un corpo che cade con moto accelerato per una curva, ciò che abbiam detto dovere accadere nel caso ch'egli cada per la verticale: la velocità ch'egli acquista cadendo da una certa altezza è tale, che lo farebbe risalire ad un'altezza eguale a quella da cui è caduto. Se si ha un corpo qualunque attaccato all'estremità di un filo mobile intorno ad un punto fisso, è certo, che allontanato dalla sua posizione d'equilibrio, e poi abbandonato a sè, tende e ristabilirvisi: ma discendendo per un certo arco con moto accelerato, acquista alla fine della caduta una velocità tale, che lo fa oltrepassare la posizione d'equilibrio, e l'obbliga a risalire nel lato opposto per un arco di lunghezza eguale a quella per cui è disceso. Distrutta ogni velocità alla fine dell'ascesa, ricade, e così riproduconsi questi movimenti di oscillazione intorno alla posizione d'equilibrio. Quest'apparecchio che porta il nome di *Pendolo* una volta in moto non cesserebbe mai, se non vi si opponessero le resistenze e gli attriti, che ogni volta diminuiscono la lunghezza dell'arco per cui ascende. Onde analizzare con facilità il movimento del pendolo, lo considereremo per un momento, come si fa in Meccanica: ne faremo un pendolo ideale chiamato *pendolo semplice*. È formato il pendolo semplice da una linea rigida inestendibile e senza peso, fissa ad una delle sue estremità, e terminata all'altra con un punto materiale pesante. Data la forma e la densità di tutte le parti che compongono un pendolo ordinario, la Meccanica c'insegna e ridurlo ad un pendolo semplice, e ci da la lunghezza del pendolo semplice corrispondente. L'ampiezza della oscillazione è l'arco misurato in gradi, compreso fra il punto da cui scende e quello a cui sale: l'arco fra il punto da cui scende, e il piano d'equilibrio, che è necessariamente il piano che passa per la verticale del punto fisso, è l'ampiezza di una mezza oscillazione discendente; l'arco compreso dal piano di equilibrio al punto di salita è l'ampiezza di una mezza oscillazione ascendente, e quindi oscillazione intiera è il movimento del punto da cui cade al punto a cui sale. Finalmente la durata di un'oscillazione è il tempo impiegato a percorrere l'ampiezza di un'oscillazione. Sia M (*Fig.* 13) il punto materiale pesante unito al filo supposto senza peso e inestendibile. Si supponga portato dal punto M in cui il pendolo semplice è in riposo, al punto M', e si abbandoni: la gravità agendo secondo la retta M P potrà decomporsi in due altre forze, una delle quali MQ diretta secondo la linea di sospensione sarà distrutta dalla resistenza di questa linea, l'altra M' n diretta secondo la tangente al circolo descritto dall'estremità del pendolo, tenderà a ricondurlo alla sua posizione iniziale. Le intensità di queste due forze si determineranno prendendo sulla direzione della gravità una linea M' P per rappresentare questa forza, e costruendo il parallelogrammo M' Q P n. Ad ogni nuova posizione del punto materiale, una nuova forza tangenziale s'aggiungerà alle precedenti, ed il pendolo scenderà con moto accelerato al punto M di riposo. Questa forza tangenziale che rappresenta realmente l'impulso dato, varia coll'angolo che fa il pendolo colla verticale, per cui si vede che non è costante la forza acceleratrice di questo movimento. Il punto materiale si muove perciò con un moto accelerato in vir-

tù di successivi impulsi che decrescono d'intensità. Giunto al punto più basso della corsa la velocità acquistata nella caduta da M' ad M sarà massima, e gli farà oltrepassare questo punto; ma a misura che salirà, l'azione della gravità decomponendosi come precedentemente, distruggerà ad ogn'istante parte della velocità acquistata nella caduta, e alla fine questa ridotta a zero, farà di nuovo discendere il corpo, e così seguiteranno a riprodursi gli stessi movimenti.

LEZIONE XI.

Leggi del movimento del pendolo. — Riduzione del pendolo composto a pendolo semplice. — Come serva il pendolo a determinare l'azione della gravità sui corpi. — Misura dell'intensità della gravità sul pendolo. — Variazione di questo sulla superficie della terra, e cagioni di questa variazione.

Le leggi del movimento del pendolo semplice che si dimostrano in Meccanica sono le seguenti:

1.ª *La durata delle oscillazioni è indipendente dalla loro ampiezza, allorchè sono di un' ampiezza piccolissima*; diconsi perciò *isocrone* queste oscillazioni, per esprimere che si fanno tutte nello stesso tempo. Ma a verificare sensibilmente questa legge, l'ampiezza delle oscillazioni non dev'essere oltre duo o tre gradi. Per dimostrare questa legge coll' esperienza conviene dedurre la durata d' un' oscillazione col contare un dato numero di oscillazioni dell'ampiezza di due o tre gradi, e notare la durata di un certo numero di queste: si continuerà l'esperienza sinchè il movimento sia quasi estinto, e si conteranno le ultime oscillazioni con un istrumento, che in seguito descriveremo, e che serve ad ingrandire gli oggetti. Questa esperienza esige troppo tempo per potersi fare durante una lezione; ma è facile ad immaginarsi. Ecco come possiamo farci un' idea della legge dell' isocronismo: la componente della gravità diretta secondo la tangente, è, come già abbiamo visto, proporzionale al seno dell'angolo che fa il pendolo colla verticale, e all'angolo stesso allorchè è piccolissimo. Ciò posto, si considerino due pendoli della stessa lunghezza e che facciano delle oscillazioni di cui le ampiezze sieno nel rapporto di 1 a 2. Si supponga diviso uno dei mezzi archi percorsi dal primo in quei punti in cui si trova il mobile ad ognuno degl' istanti successivi in cui la gravità agisce, e si faccia, per il mezzo arco del secondo, una divisione in parti proporzionali a quelle del primo: è certo, che gl' intervalli del secondo saranno doppi di quelli del primo. Facendo partire nello stesso tempo i due pendoli, il secondo avrà nel primo istante una velocità doppia del primo, e percorrerà per conseguenza nello stesso tempo uno spazio doppio, e tutti e due avranno percorso una divisione. Questo accadrà per tutti gl' istanti del movimento, conservando sempre il secondo una velocità doppia del primo, per conseguenza i due pendoli oscilleranno nel medesimo tempo. Questa legge dell' isocronismo è una delle prime scoperte fatte da GALILEO. Narrasi che, giovane ancora osservasse per caso nella nostra Primaziale le oscillazioni di una lampada sospesa nel mezzo di uno dei grandi archi della volta, e fosse colpito nell'osservare l'eguaglianza di tempo in cui si facevano. Sopra questa legge è fondata l'applicazione del pendolo agli orologi. La caduta di un grave, o il distendersi di una molla, sono le forze che imprimono il movimento agli orologi, le quali non produrrebbero, abbandonate a loro stesse, che un movimento accelerato o di breve durata. Si converte in un movimento regolare per mezzo del pendolo. S' immagini intorno ad un cilindro ravvolta una corda fissa con una sua estremità nel cilindro stesso, e portante un peso all' altra. Il cilindro comunichi per una serie di ruote dentate ad un' ultima (*Fig.* 17). Un pendolo M N fornito di un pezzo $m\ n\ p\ q$, che dicesi *scappamento*, sia disposto presso quest' ultima ruota dentata in modo che ad ogni oscillazione del pendolo un dente della ruota esca dallo scappamento. È evidente che quantunque il peso tenda a far girare la ruota di un moto continuo ed accelerato, non potrà muoversi che interrottamente e dopo tempi eguali, e che la pressione che i denti della ruota esercitano contro lo scappamento perpetuerà il movimento del pendolo; questo durerà a muoversi sinchè il peso sarà giunto al basso della corsa, o la molla affatto distesa.

2.ª legge. *Le durate delle oscillazioni stanno fra loro come le radici quadrate delle lunghezze dei pendoli*. Basterà, per provare questa legge, far oscillare due pendoli di diverse lunghezze, e misurare la durata di un'oscillazione per ognuno di questi. Si ottiene facilmente la durata di un' oscillazione contando un gran numero di oscillazioni in un certo tempo, e dividendo questo tempo per il numero delle oscillazioni. Si troverà allora che se i pendoli paragonati

fra loro hanno delle lunghezze che sieno tra loro come i numeri 1, 4, 9 ec., le durate di un'oscillazione di ognuno di questi sono tra loro come i numeri 1, 2, 3 ec.; di modo che confrontando due pendoli di cui uno sia lungo quattro volte più dell'altro, si trova che il più corto fa due oscillazioni nel tempo che l'altro ne fa una; se fosse lungo nove volte più, si osserverebbe che quello fa tre oscillazioni nel tempo che il più lungo ne fa una.

Onde confermare le due leggi esposte coll' esperienza convien nella costruzione del pendolo, ravvicinarsi il più che sia possibile alla semplicità del pendolo ideale, che abbiam detto consistere in un filo inestendibile senza peso, e alla cui estremità non fissa deve trovarsi una sola molecola pesante. Noi otteniamo questo risultato adoperando un filo metallico estremamente sottile, fisso superiormente ad un asse d'acciaio tagliato ad un angolo acuto, come quello che sopporta l'asta della bilancia, e posato sopra due piani perfettamente levigati, ed egualmente duri. Alla estremità inferiore è fissata una sfera metallica di una massa assai grande relativamente a quella del filo di sospensione. Un pendolo così costrutto, oscilla sensibilmente come un pendolo semplice, la cui lunghezza sia eguale alla distanza del centro di gravità della sfera dal punto di sospensione.

Un pendolo ordinario, quello stesso anche di cui si è or ora indicata la costruzione, è sempre un pendolo composto. Abbiamo già detto che la Meccanica c'insegna come dedurre la lunghezza del pendolo semplice corrispondente; laonde mi limiterò a farvi intendere che v'è sempre in ogni pendolo composto un punto detto *centro d'oscillazione*, il quale oscilla come se fosse solo e liberamente sospeso per una lunghezza eguale alla sua distanza dal punto di sospensione. Immaginate nella vostra mente un filo inestendibile e senza peso al quale sieno unite due molecole pesanti, e a diversa distanza dal punto di sospensione. Un pendolo così costruito formerebbe un pendolo composto. È certo che le due masse a distanza disuguale dal punto di sospensione avrebbero, oscillando liberamente, delle velocità di oscillazione diverse, e che la molecola più prossima oscillerebbe più presto dell'altra; ma essendo legate insieme le due masse, forza è che queste si muovano insieme e che la loro oscillazione si compia nello stesso tempo. La molecola più vicina è ritardata dalla più lontana, questa accelerata dalla prima; v'è dunque una velocità intermedia, che è quella del pendolo composto. Se in luogo di due molecole sole si supponga una serie di molecole distese lungo l'asta del pendolo, potrem ripetere le considerazioni fatte precedentemente: le prime molecole saranno ritardate per lo sforzo che fanno ad accelerare le lontane che oscillerebbero più lentamente di loro; le più lontane sono accelerate per l'impulso che ricevono dalle prime che tendono ad oscillare più velocemente. Vi sarà perciò per ogni pendolo composto un punto, che non sarà nè accelerato nè ritardato, e che farà la sua oscillazione liberamente come se fosse solo, e sospeso per una lunghezza eguale alla sua distanza dal punto di sospensione. Questa lunghezza è dunque eguale a quella di un pendolo semplice che oscillasse colla stessa velocità del pendolo composto. La posizione di questo centro d'oscillazione dipende dalla forma del corpo che si fa oscillare, supposto omogeneo, e dalla forma e densità delle sue diverse parti, quando sia composto di varie materie. Vedesi da ciò quanto interessi, allorchè il pendolo è destinato alla misura del tempo, di mantener costante la sua lunghezza. Si applica perciò ai pendoli, al disotto della lente, una massa pesante che si fa scendere o salire onde ritardare o avanzar l'orologio: più comunemente poi si dà questo movimento alla lente stessa, abbassandola o innalzandola per mezzo di una vite. Vedremo, parlando del Calore, come si sia riparato alla dilatazione della materia del pendoli prodotta dal medesimo. Da ciò si spiega ancora il disuguale movimento dei pendoli nelle diverse stagioni, e quindi l'indicazione varia degli orologi. Oggi si costruiscono le aste dei pendoli di legno imbevute di olio e coperte di vernice, onde avere così un corpo che appena si risente dell'azione del calore e dell'umidità dell'aria.

Colla formola $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ la meccanica ci dà la durata di una oscillazione: in questa formola g è l'intensità della gravità, cioè il numero dei metri che esprime la velocità acquistata da un corpo dopo un secondo di tempo di caduta libera, π il rapporto del diametro alla circonferenza, l la lunghezza del pendolo semplice espressa in metri, e dedotta, con le regole date dalla Meccanica, dalla lunghezza del pendolo composto osservato. — Questa stessa formola ci esprime le due leggi esposte: il tempo è indipendente dall'ampiezza dell'arco considerato assai piccolo, essendo in questo solo caso la forza acceleratrice tangenziale proporzionale all'arco stesso. Ci si dimostra inoltre che la durata è indipendente dalla resistenza del mezzo in cui il pendolo oscilla, agendo questa resistenza solo a diminuire

l' ampiezza dell' oscillazione. Risulta pure dalla stessa formola, e dal principio del movimento del pendolo, una legge che conduce ad una conseguenza assai importante, e che abbiamo dedotto per altra via. La legge è: « *che la durata delle oscillazioni è indi-* » *pendente dal peso, e dalla natura del cor-* » *po, o lente del pendolo che oscilla* ». Può dimostrarsi facilmente questa legge costruendo pendoli egualmente lunghi con lenti di diversi metalli, di legno o d'altre sostanze. Fatti oscillar questi pendoli si osserva, che i loro movimenti si conservano d'accordo per lunghissimo tempo, e che le differenze le quali alla fine appariscono dipendono dall'azione inegnale degli attriti e delle resistenze sopra le diverse lenti. Il metodo più semplice per costruire questi pendoli è quello di attaccare all' estremità di un pendolo una calotta sferica, e di unire nell' interno di questa calotta diversi corpi al pendolo, e farlo oscillare. Molte esperienze così fatte hanno dato lo stesso risultato. Questa poi, meglio ancora di tutte quelle da noi fatte in una delle precedenti lezioni facendo cadere i corpi nel vuoto, ci prova che *la gravità agisce egualmente sopra tutti i corpi*. Di fatti mentre in quelle non possiamo osservare l' azione della gravità che per un intervallo piccolissimo di tempo, possiamo col pendolo invece continuare questa osservazione dell' azione della gravità sopra diversi corpi per ore intiere. Benchè il movimento non abbia luogo nel pendolo che per archi assai piccoli, nulladimeno la serie delle oscillazioni fatte in un tempo lungo, può considerarsi come un movimento progressivo e rettilineo con cui cade costantemente la lente del pendolo.

Le leggi dedotte dalla Meccanica per le oscillazioni del pendolo, e che abbiam veduto esser confermate dall' esperienza, si verificano sempre qualunque sia l' intensità della gravità. L' isocronismo delle piccole oscillazioni, il rapporto fra la lunghezza del pendolo e la durata delle sue oscillazioni, non varia quand'anche si supponesse variare l'intensità di questa forza. È il caso stesso delle leggi della caduta: si riduca la forza della gravità a 1/10, a 1/100, i corpi cadranno sempre percorrendo spazi proporzionali ai quadrati dei tempi, e acquistando velocità proporzionali ai tempi. Ciò che abbiam visto variare riducendo la gravità ad agire con parte della sua azione, è la lunghezza assoluta degli spazi percorsi in dati tempi: ciò che varierà col pendolo, sarà la durata assoluta di ogni oscillazione. È dunque il pendolo uno degl'istrumenti del quale possiamo valerci a determinare l'intensità della gravità; anzi, siccome vedremo più innanzi, è quello che ci dà questa misura più esattamente di ogni altro. Potrebbe credersi che le bilance rese oltremodo sensibili servissero a questo scopo; e certo è che variando la intensità della gravità deve anche variare il peso di un corpo. Risovvenitevi però che la bilancia è fondata sull'equilibrio di due pesi eguali, e che la gravità variando egualmente per tutti e due, non sarebbe mai alterato l' equilibrio di due pesi in questo istrumento.

Vediamo come può il pendolo servirci in questa misura. Già abbiamo data la formola della durata di un' oscillazione come si ottiene in Meccanica: è questa

sia $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, da cui $g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$

Tutto riducesi alla determinazione della durata di un' oscillazione, e alla misura esatta della lunghezza del pendolo composto che si fa oscillare, dalla quale si ha l, cioè la lunghezza del pendolo semplice corrispondente. Non è che dopo aver trovati questi due termini con esattezza, che può aversi il valore di g. La durata di una oscillazione si ha, come già si è detto, contando esattamente un certo numero di oscillazioni in un dato tempo, e dividendo questo tempo ridotto in secondi pel numero delle oscillazioni: potrà spingersi la precisione nell' ottenere la durata di un' oscillazione tanto più oltre, quanto più sarà grande il numero delle oscillazioni contate. Borda il primo ha dato il metodo per ottenere con esattezza la lunghezza dei pendolo: oltre di che vi sono delle correzioni da farsi onde ridurre al caso delle oscillazioni nel vuoto, l' ampiezza e quindi la durata delle oscillazioni. Le ricerche precise di Bessel hanno confermato, che per la riduzione al vuoto conveniva non solo tener conto della perdita del peso della lente del pendolo nell'aria, ma ancora della forza perduta per mettere in movimento l'aria circostante. Una volta ben determinati i termini T ed l si ha il valore di g, che è stato dato esattamente da Borda, e poi verificato in seguito con altri processi: si trova per Parigi g=9 metri 8088. Questo numero significa, che un corpo che cade nel vuoto per un secondo di tempo, acquista tanta velocità da percorrere cessando di agire la gravità, 9metri, 8088 in tutti gli altri secondi seguenti. Può anche esprimersi questo valore trovato per g, dicendo che un corpo partendo dal riposo e cadendo nel vuoto, percorre nel primo secondo uno spazio che è 4metri,9044. Conosciuta così l' intensità della gravità per un dato luogo, è facile di vedere come si possa coll'esperienza conoscere se, e quanto è va-

ria in altri luoghi. Basterà di avere un pendolo di forma e lunghezza invariabile, di farlo oscillare nel luogo di cui si cerca l'intensità della gravità, e di contare un dato numero di oscillazioni fatte in un dato tempo. È evidente che ripetuta questa osservazione in un altro luogo, e determinato il numero delle oscillazioni fatte nello stesso tempo, dovranno le intensità della gravità in queste due circostanze diverse esser fra loro come i quadrati di questi numeri. Infatti avremo dalla data formola, dette g e g' le intensità della gravità in due circostanze diverse, la proporzione $g : g' :: T'^2 : T^2$, in cui T è la durata della oscillazione essendo g l'intensità, e T' la durata di un'oscillazione essendo g' l'intensità, ciò che torna a dire, come già abbiamo visto, che le intensità sono in ragione inversa del quadrato del tèmpo o durata di un'oscillazione. Sia n il numero delle oscillazioni, che hanno per durata T, fatte in un tempo τ e n' il numero delle oscillazioni che hanno la durata T' fate nell'istesso tempo τ, è chiaro che sarà $\tau = n\,T = n'\,T'$, per cui $g : g' :: \left(\frac{\tau}{n'}\right)^2 : \left(\frac{\tau}{n}\right)^2$, da cui $g : g' :: n^2 : n'^2$. Questa espressione dei rapporti dell'intensità di una stessa forza in circostanze diverse, che ci vien data dal movimento del pendolo, ci servirà per tutti i movimenti di oscillazione o vibrazione, che si effettuano intorno alla posizione di equilibrio, e che in dati limiti seguono la legge dell'isocronismo.

Potrà egualmente dedursi da queste esperienze fatte osservando il numero delle oscillazioni d'un pendolo di forma e dimensione invariabile messo in diverse circostanze, quale è in queste la lunghezza del pendolo che ha sempre la stessa durata di oscillazione. Risulta infatti dalla formola del pendolo, che le lunghezze sono proporzionali alle intensità della gravità.

Il resultato ottenuto determinando l'intensità della gravità pei diversi punti della superficie della terra è assai importante. Si è trovato che dal polo all'equatore l'intensità della gravità diminuisca, e che questa diminuzione è di 1/176 del valor medio della gravità. Si è trovato per conseguenza che la lunghezza del pendolo che batte in tutti i luoghi il secondo sessagenale è espresso dai numeri seguenti, che metterò di faccia alle latitudini dei luoghi per cui furono determinate:

Latitudini		*Lunghezza del pendolo*
Equatore.	0° . .	0, metri 990925
	26 . .	0, 991528
Parigi .	48, 50', 40'	0, 993846
	60 . .	0, 994791
	80 . .	0, 995924

Bouguer ha il primo verificato colla scorta dell'esperienza, che l'intensità della gravità diminuiva andando verso l'equatore. La causa principale di questo fenomeno è la forza centrifuga. Risovvenitevi che in ogni corpo che ruota si sviluppa per la sua inerzia una forza che tende ad ogni istante a farlo fuggire per la tangente alla curva che descrive, e che continua il suo movimento nella curva solo perchè v'è una forza che l'attira costantemente verso il centro, e che fa equilibrio alla forza centrifuga. Risovvenitevi ancora che questa forza è proporzionale al quadrato della velocità diviso per il raggio, per cui in ogni punto della terra è proporzionale alla distanza di questo punto all'asse di rotazione. All'equatore la forza centrifuga sta alla gravità come 1 a 289, per cui rimane distrutta la gravità di 1/289. È tanto vera questa influenza della forza centrifuga sviluppata dalla rotazione della terra principalmente all'equatore, che ammesso che la terra rotasse 17 volte più rapidamente intorno a se stessa, si avrebbe per misura della forza centrifuga il prodotto 1/289. $17^2 = 1$ cioè alla gravità, nel qual caso i corpi all'equatore non cadrebbero più sulla superficie della terra. Oltredichè l'influenza di questa forza centrifuga nel diminuire la gravità, decresce anche più rapidamente per un'altra ragione, quando si passa dall'equatore al polo: all'equatore la forza centrifuga è opposta alla gravità, e agisce con tutta la sua intensità, mentre in tutti gli altri punti la forza centrifuga, sempre diretta perpendicolarmente all'asse di rotazione, non può agire che inclinata rapporto alla direzione della gravità.

Vedremo nella lezione seguente che v'è un'altra causa, la quale influisce sulla diminuzione della gravità dal polo all'equatore.

LEZIONE XII.

Attrazione universale, e sue leggi mostrate coll'esperienza. — La gravità non è altro che questa forza esercitata dalla massa terrestre. — Prova di ciò, dedotta dal moto della Luna — Deviazione del filo a piombo prodotta dai monti. — Densità media della terra.

Stabilita la direzione della gravità, determinato il punto di applicazione nel corpi della sua risultante, trovate coll'esperienza le leggi con cui opera, non ci rimane che a studiare più profondamente la natura di questa forza. Da qual punto della terra emana questa forza per agire sul corpi; è essa varia alle distanze fra terra e corpo; le parti del corpo soffrono esse senza reagir questa azione; sarebbe mai la gravità una forma, un caso speciale di una forza più generale appartenente ad ogni atomo della materia? Eccovi una serie di questioni da risolvere, e tutte della più alta importanza. Mi guarderò dal farlo nell'ordine storico in cui realmente vennero risolute, perchè questo mal si converrebbe allo spirito del nostro Corso, e alle cognizioni che io devo supporre in voi. La terra attira a sè tutti i corpi abbandonati a loro stessi: è egli possibile di concepire che questa azione del nostro globo sopra alcune delle sue parti, non sia accompagnata da una reazione per la parte del corpi che cadono; v'è egli un esempio in natura di una forza qualunque esercitata sopra un corpo, senza una reazione eguale a contraria che agisca? No: tutto ei attesta, tutto ci conferma ad ogni momento quel grande principio di filosofia naturale annunziato da Newton: *la reazione è uguale a contraria all' azione*. Sulla terra cadono tutti i corpi, la terra tutti gli attira, dunque da tutti è attirata, dunque tutti s' attiran fra loro, v'è fra tutte le parti della materia una forza d'attrazione. Noi potremo dimostrare coll'esperienza l'esistenza di questa forza, e determinarne le leggi. Dobbiamo a Cavendish un apparecchio estremamente ingegnoso, che ha servito a stabilire l' esistenza di questa forza generale della materia, e le sue leggi. Conveniva mettere in presenza corpi distruggendo l' azione di ogni altra forza che potesse agirvi sopra; conveniva scegliere questi corpi di forma tale, che le loro distanze e masse fossero giustamente stabilite. Ecco come Cavendish ha raggionto lo scopo. La disposizione dell' apparecchio è la seguente (*Fig.* 15): nel quadro metallico A B B' A' E' F' F E, è sospesa con un filo d'argento L un'asta di legno h h' alle cui estremità sono egualmente sospese due sfere di rame x ed x'. Col mezzo dell' albero *ok*, e di due ruote che ingranano, poste al di sopra della pinzetta L che sostiene il filo, si può farla girare in modo che il filo porti l'asta h h' nella direzione S S' del telajo A B B' A' E E. Al disopra della sospensione F F' del quadro metallico v'è una gran maniglia che sostiene una barra r r' alla estremità della quale sono sospesi con due regoli B R' B' r' due globi di piombo W W', che si posson a piacere avvicinare o allontanare dalle sfere x e x' col mezzo della puleggia M M', e della corda m n. Tutto questo apparecchio sta chiuso in una specie di stanza illuminata da due lanterne L e L'. Si osserva nell' interno con due canocchiali T e T'. Egli è evidente, per la disposizione descritta, che le due sfere sospese non risentono l'azione della gravità, essendo la risultante dei loro pesi continuamente distrutta dal filo nella cui direzione essa passa: la leva può muoversi orizzontalmente intorno all'asse del filo come se la gravità non esistesse. Le due sfere di rame erano assai piccole in confronto dei due globi di piombo: ognuno di questi pesava 157 chilogrammi, ed erano perfettamente eguali. La osservazione si faceva disponendo queste due grandi palle in modo che la linea che univa il loro centro passasse esattamente per il centro della leva; nel qual caso quando fosse esistita, fra una delle sfere e la palla vicina, una forza d'attrazione, questa anzichè opporsi si aggiongeva all' azione simile esercitata fra l'altre due, palla e sfera. Cavendish riconobbe che nel momento in cui le masse erano poste in presenza delle due sfere, la leva che sosteneva le sfere, cominciava a muoversi, le piccole sfere si portavano verso le grandi masse, e mettevansi ad oscillare. Fece variare le dimensioni o le masse di queste palle, la distanza fra le palle e le sfere, impiegò sfere e palle di diversa natura, e conchiuse da una lunga serie di esperienze, *che v'era attrazione fra la materia delle palle a quella delle sfere, a che questa variava in ragion diretta delle masse, a in ragione inversa dei quadrati delle distanze.* Voi in-

tendete presto il significato di questa legge: la forza totale con cui un corpo agisce sopra una molecola d'un altro per attrarla, è la somma delle attrazioni di ognuna delle sue molecole; per cui quanto più è grande il numero delle molecole, tanto è più grande la intensità della forza. Mettete due corpi a distanze dai loro centri espresse coi numeri 1, 2, 3, ec.; le intensità della forza di attrazione diminuiranno con queste distanze, e precisamente saranno espresse coi numeri 1, $^1/_4$, $^1/_9$.

Abbiamo prese per le distanze fra i corpi supposti sferici, le distanze fra i loro centri, perchè in Meccanica si dimostra *che le molecole materiali, uniformemente distribuite nel volume di una sfera, agiscono nella loro totalità sopra un punto esteriore come se tutte fossero riunite al suo centro*: dimodochè supposto il corpo libero di obbedire a quest'attrazione, si muoverebbe secondo una retta che prolungata passerebbe per il centro della sfera.

Chi non vede ora, in seguito di queste leggi dell'attrazione, come avvenga che per la grandezza della massa della terra incomparabilmente maggiore di quella dei corpi coi quali la vediamo agire, noi non possiamo accorgerci dell'attrazion di questi per la terra? Ma se la gravità non è che l'attrazione della terra sui corpi, se l'attrazione è la forza generale dei movimenti planetari, non potrem noi da questi movimenti, dalle loro leggi trarre una conferma maggiore di questa analogia? La luna offri la prima coi suoi movimenti una tanto importante verificazione. Riguardiamo la luna come un proiettile lanciato all'origine delle cose con tanta forza da ruotare infinitamente attorno alla terra obbedendo contemporaneamente alla forza d'attrazione. Ricordatevi delle considerazioni da noi fatte del movimento per le linee curve. Il corpo che obbedisce ad una forza d'impulso, e nello stesso tempo ad una forza continua centrale, cammina per una serie di elementi infinitamente piccoli, che sono le diagonali trovate sulle due forze che contemporaneamente agiscono ad angolo sul corpo che ruota. Risovvenitevi ancora che se si lancia un proiettile in modo da arrestarlo dopo un secondo dal suo moto, il proiettile si trova in un punto che è in linea retta di quello a cui è diretto l'asse del cannone, e precisamente al disotto di questo punto per quella quantità di spazio che nell'intervallo di un secondo avrebbe percorso senza esser lanciato, cioè cadendo per l'azione libera della gravità. Ma ritorniamo alla luna. Se l'attrazione della terra sulla luna è la causa della gravità, egli è certo che lo spazio per cui la luna potrà considerarsi caduta in un secondo di tempo partendo dall'estremità della tangente in cui si sarebbe messa per la sola forza d'impulsione, dovrà essere eguale a quello che avrebbe percorso cadendo nello stesso tempo sulla superficie della terra: se non che il numero rappresentante questo spazio, e che noi abbiamo ottenuto colla esperienza, dovrà essere, pel caso della luna, diminuito per la maggiore distanza, e precisamente nel rapporto dei quadrati delle distanze. Sulla superficie della terra, cioè a 1600 leghe dal suo centro, un corpo in 1" cade per 4, metri 9044. La distanza dal centro della terra alla luna è 60 volte maggiore di 1600 leghe, cioè del raggio terrestre, per cui essendo 3600 il quadrato di 60, lo spazio percorso in 1" da un corpo che cade alla distanza a cui si trova la luna, dovrà essere 3600 volte più piccolo di quello percorso nello stesso tempo cadendo sulla superficie della terra. Il risultato di questo calcolo semplicissimo ci dà il valore di questo spazio pel quale cade la luna in un secondo di tempo, precisamente identico a quello che noi possiamo dedurre dalla sua velocità di rotazione e dalle dimensioni della sua orbita. È dunque la forza di cui noi osserviamo costantemente gli effetti alla superficie della terra, quella di cui abbiamo studiate le leggi del movimento; è dunque quella stessa che mantiene il nostro satellite nella curva che descrive intorno a noi. Allorchè si considera l'intensità di questa forza sulla luna, deve trovarsi diminuita da quello che è sulla superficie della terra, nel rapporto dei quadrati delle distanze dal suo centro. I movimenti delle stelle doppie che trovansi ad una distanza quasi incommensurabile da noi, hanno spinta la verificazione di questi fatti al maggior grado di certezza possibile. Molto prima delle esperienze di Cavendish, il genio di Newton trovò la legge dell'attrazione universale che abbiamo data. Questo grande Filosofo potè trarla dalle leggi dei movimenti dei corpi celesti determinate da Keplero. È la scoperta che più sublima il genio dell'umanità, sicchè non a torto diceva Lagrange « che era impossibile di farne un'altra, perchè v'era un solo mondo » da scoprire ».

La deviazione del filo a piombo osservata in vicinanza delle grandi montagne, è ancora una prova di questa forza universale che agisce sulla materia, e che costituisce l'azione della terra sui corpi. Bouguer il primo immaginò ed ottenne con esperienze precise la deviazione prodotta sul filo a piombo presso il Chimborazzo. Maskeline e Carlini confermarono in seguito, e con espe-

rienze anche più precise, il risultato di Bouguer.

Questa forza d'attrazione variando in ragione inversa del quadrato delle distanze, potrebbe credersi che l'azione della gravità sopra un corpo che cade verso la superficie della terra, cambiasse continuamente. Basterà però di riflettere che avuto riguardo alle piccole altezze da cui noi consideriamo caduti i corpi sulla superficie della terra, e alla grandezza infinitamente più grande del raggio terrestre, può la gravità considerarsi come una forza acceleratrice costante per tutti i punti della linea per cui cade un corpo.

Per un corpo che penetra al disotto della superficie della terra, la gravità opera con una legge ben diversa. Una molecola infatti considerata nell'interno della terra sarà attratta verso il suo centro con una intensità misurata dalla differenza di attrazione degli strati che le sono sottoposti, e di quegli che le stanno sopra e l'attirano verso la superficie della terra. Diminuendo costantemente la differenza fra le masse superiori e le inferiori alla molecola a mano a mano che ella si considera più prossima al centro della terra, dovrà l'azione della gravità diminuire costantemente passando dal massimo in cui è alla superficie della terra, allo zero quando trovasi al centro. Questa variazione ha luogo in ragion diretta della distanza della molecola al centro della terra.

Noi intenderemo ora facilmente che è alla maggior distanza alla quale si trovano dal centro della terra i corpi posti sull'equatore rispetto a quelli che trovansi ai poli in ragione della forma sferoidale della terra, che deve attribuirsi parte di quella diminuzione della gravità che va sempre crescendo dal polo all'equatore. Difatti abbiam visto che questa diminuzione era di 1/176 del suo valor medio, e che l'effetto della forza centrifuga si riduceva a diminuire l'azione della gravità all'equatore di 1/289.

Non termineremo queste considerazioni sull'attrazione universale, che è la causa della gravità, senza dare un cenno di una ricerca estremamente importante fatta coll'apparecchio di Cavendish. Ha servito questo apparecchio a determinare la densità della terra. Pare sulle prime assai difficile di concepire come possa aversi questa densità che non si riferisce nè a quella dell'acqua, o dolce o del mare, che in tanta quantità ne copre la superficie, nè a quella di qualcuno dei minerali o terreni che abbondano sulla terra: è una densità media quale si avrebbe fondendo tutti insieme, tutti mescolando i materiali che compongono la terra, cioè quei pochissimi che conosciamo, e i molti di cui ignoriamo e ignoreremo per sempre la natura. Come mai l'apparecchio di Cavendish può darci questa densità? Ricordiamoci che per avere la densità ci basta di conoscere la quantità di materia che è contenuta sotto un determinato volume. Noi non possiamo, è vero, pesar la terra; ma possiamo però determinare la sua forza di attrazione, che è la somma di tutte le attrazioni delle molecole che la compongono. Supponiamo di aver due globi di materia, e determiniamo la loro forza di attrazione ad una determinata distanza: è chiaro che ne conosceremo il volume, ne dedurremo la quantità di materia che essi contengono. Se i due globi avranno lo stesso volume, e la intensità della attrazione sarà per l'uno doppia dell'altro, se i corpi cadranno sopra uno di questi globi col doppio di velocità che sopra l'altro, concluderemo che quel primo contien due volte più materia dell'altro, o, ciò che torna lo stesso, ha due volte più di densità. Le due piccole sfere che sono all'estremità della leva nell'apparecchio di Cavendish, e che oscillano dirimpetto alle grandi palle di piombo, devono considerarsi come un pendolo che oscilla alla superficie di un piccol pianeta artificiale, e la durata delle loro oscillazioni ci darà, per quelle leggi che abbiamo esposte, l'intensità della forza attrattiva di quelle masse. Chiamiamo g' l'intensità dell'attrazione, o gravità del nostro piccol pianeta, e g quella della terra alla sua superficie: potremo sempre stabilire che g sta a g' come la massa della terra sta alla massa che compone il globo di piombo. Ma queste masse, come lo abbiam detto parlando delle densità, son proporzionali ai volumi moltiplicati per le densità, per cui avremo $g : g' :: V\,D : V'\,D'$, da cui $D = \frac{g\,V'\,D'}{g'\,V}$; g è l'intensità della gravità alla superficie della terra, e che sappiamo essere eguale a 9m,8088, V è il volume della terra che ci vien dato dall'Astronomia, D' la densità ben nota del piombo che componeva il globo di Cavendish, V' il suo volume, e g' l'intensità della sua forza d'attrazione o gravità, misurata dal pendolo orizzontale: son dunque tutti noti i termini di quella equazione, e per conseguenza è dato il valore di D, o densità della terra. Cavendish trovò che la durata delle oscillazioni del suo piccol pendolo in faccia ai globi di piombo, era di circa 420", mentre la durata delle oscillazioni dello stesso pendolo alla superficie della

terre non era rhe di 1". Ora essendo l'intensità della gravità in ragione inversa dei quadreti di queste durate, se ci rappresentiamo con 1 l'intensità della gravità alla superficie della terra, quelle alle superficie del piccol globo sarà $(420)^2$, cioè 176400 vòlte più piccola di quella delle terra. Cavendish conclnee che la densità media della terra era 5 volte e mezzo circa maggiore di quella dell'acqua. Questo risultato è della massima importanza. Osservate che l'acque di cui è 1 la densità cuopre in gran parte la superficie della terra, e vi penetra sino a grandi profondità: osservate anche che la maggior parte dei marmi, delle terre, delle rocce che compongono la crosta che noi conosciamo, non hanno mai una densità maggiore di due o tre volte quella dell'acqua. Vi sono veramente sotto terre dei metalli assai più densi, me in troppo pora quantità de portar variazione alle medie densità del globo. Poichè dunque la densità media della terra è 5 volte e mezzo maggiore di quella dell'acqua; e poichè i materiali delle crosta hanno une densità di poco maggiore alla metà di qoesto numero, deve rigoardarsi come una conseguenza rigorosamente dedotta, che al disotto di quegli strati rhe ci fu dato di esaminar sino ad ora, nell'interno della terra in somma, vi son materie assai più dense di quelle che trovansi alla superficie.

LEZIONE XIII.

Attrazione molecolare. -- Prove sperimentali di questa attrazione nei diversi stati della materia. -- Come questa attrazione molecolare possa riguardarsi prodotta dall'attrazione universale. -- Forza ripulsiva del calorico. -- Stato diverso della materia — Ipotesi sulla diversa costituzione dei corpi.

Noi dobbiamo ora passare allo studio dell'attrezione considerata come la causa che, in lotta colla forza ripulsiva del calorico, determina i diversi stati della materia, e in generale tutti i fenomeni dovuti alla costituzione molecolare dei corpi. Posti i corpi ad una distanza estremamente piccola fra loro, veggonsi in generale attratti con une energia rapace di vincere il proprio peso, non che forze assai maggiori. Questa attrazione non ha luogo se non se mettendo i corpi quasi el contetto, e si eserrite fra le molecole o gruppi atomistici che compongono i corpi: si distingue essa col nome di *attrazione molecolare*, onde non confonderla colla gravità e coll'attrazione universale, che agiscono a tutte le distanze, e sopra le masse. Dall'attrazione molecolere nascono i fenomeni dell'adesione, cioè dello sforzo più o meno grande che convien fare per separere due corpi applicati l'uno contro l'altro colle loro superficie ridotte più o meno levigate. I fenomeni della capillarità son pur dovuti a questa attrazione. Essa stessa agisce sulle molecole dei corpi solidi, le tiene ad una certa distanze in equilibrio, e fa sì che resistano alla forza che ei fa per separarle o cambiarne la situazione. Tutto ciò che noi sappiamo di questa forza, insegnatoci dall'esperienza, si riduce a questo che, *l'attrazione molecolare si manifesta allorchè le molecole sono a piccolissime distanze fra loro, che varia in una proporzione assai rapida colla distanza, a che la sua intensità è diversa per i diversi corpi, e perciò dipendente in qualche modo dalla natura delle molecole*. Mi sarà facile di mostrarvi coll'esperienza come esista questa forza o attrazione molecolare, mettendo in contatto due facce piene ottenute tagliando un segmento a due palle di piombo. Se io mi contentessi di avvicinarle semplicemente, non proverei nessuno sforzo per poi separarle, per quanto fosse stata piccola, e quesi insensibile le distanza a cui le ho avvicinate: me se lo procurerò un contatto perfetto facendo strisciare l'une contro l'altra le due superficie a modo di cacciar l'aria che potrebbe rimanervi interposta, allora vedrò che un grande sforzo, d'assai superiore al peso delle medesime, è necessario per separarle. Crescerà ancor più queste forza di adesione se io avrò premute le due palle l'una contro l'altra. Posso ripetere queste esperienza con superficie di altri metalli, di legoo, di marmo, ec. Egli è anche noto che immergendo nell'acqua, nell'alcool, nell'olio un corpo qualsivoglia, ne esce per lo più bagnato, cioè portando seco una porzione del liquido. In questo caso è l'adesione fra solido e liquido da prima, e poi tra liquido e liquido, che sostiene le molecole dell'acqua, o alcool o olio, e distrugge l'effetto della gravità. Questa stessa attrazione molecolere fra liquidi e liquidi può ancho meglio osservarsi con un istrumento assai semplice. Voi vedete qui una lastra di vetro sospesa al piatto inferiore di une bilancia che tengo in equilibrio con alcuni pesi posti sull'altro piatto. Se io fo toccare la faccia inferiore di questa lastra di vetro con dell'acqua, osservo che per poi distaccarla è necessario che aggiunga un

peso assai maggiore di prima. La lastra allorchè si distacca trovasi coperta di uno strato d'acqua, da cui fu bagnata fin dal principio dell'immersione. È dunque fra acqua e acqua che l'adesione si è mostrata. Posso fare lo stesso esperimento fra una lastra di metallo amalgamata e uno strato di mercurio con cui la metto a contatto, e in questo caso l'adesione ha luogo fra mercurio e mercurio. Esiste questa attrazione fra liquidi di diversa natura, come fra solidi. Una piccola stilla d'acqua può stare attaccata, e si riesce facilmente a vederlo, ad una goccia d'olio. Questi fenomeni d'adesione non son dovuti alla pressione dell'aria, che, quando mai, non entrerebbe che per una parte assai piccola in questi effetti: d'altronde anche nel vuoto si producono i fenomeni citati dell'adesione. Noi vedremo parlando della costruzione di un istrumento assai importante della Fisica, cioè del *barometro*, che anche i corpi gassosi sembrano aderire ai corpi solidi e liquidi. Che questa forza non dipenda che dalle molecole che si toccano, e perciò non agisca che a piccolissime distanze, ben ce lo prova l'osservare che hanno luogo colla stessa intensità qualunque sia la grandezza delle palle messe a contatto, qualunque sia la profondità della massa liquida con cui ho toccato la lastra. Questa forza d'adesione vedesi solo variare coll'estensione delle superficie che si toccano. L'aderir maggiormente di due corpi solidi quanto più le superficie son levigate, ci prova lo stesso. D'ogni modo può osservarsi che allorchè si voglia separare le parti di una particella di un corpo, lo stesso sforzo si esige, sia che la particella appartenga ad una gran massa, sia che si consideri staccata da questa. Ma avremo occasione di ritornare più estesamente sopra lo studio di questa forza molecolare, parlando in un modo speciale dei diverso stato della materia. Per ora ci limiteremo a mostrare come si possano intendere questi fenomeni, colla forza di attrazione che abbiam visto spiegare la gravità. L'attrazione della materia che si manifesta alle distanze immense a cui si trovano gli astri, e a distanze più piccole onde produrre la gravità, questa stessa attrazione che abbiamo riconosciuto con Cavendish esistere fra tutti i corpi a qualunque distanza per noi sensibile alla quale si trovino, non può cessare allorchè si mettono le parti della materia in presenza e a distanze estremamente più piccole di quelle. Basterà per abbracciare sotto la stessa forza i fenomeni dell'attrazione molecolare, di considerare l'espressione analitica dell'attrazione delle molecole come composta di due termini, uno dei quali variando in ragion diretta delle masse e in ragione inversa del quadrato delle distanze, avrebbe un valor finito per ogni distanza possibile: l'altro termine, che può farsi dipendere dalla natura e forma delle molecole, abbia un valore assai grande a distanze piccolissime, e diminuisca rapidamente per poco che queste crescano, e tanto da esser nullo per distanze non più apprezzabili dai nostri sensi. La prima parte di questa attrazione produrrebbe l'attrazione universale e la gravità, la seconda l'attrazione molecolare. Ammettiamo *provvisoriamente*, ed è sempre a questa condizione che le ipotesi son buone, che tutti i punti materiali di cui son formate le molecole s'attirino in ragione diretta della loro massa, e in ragione inversa del quadrato della distanza, e che *le molecole dei corpi non sieno sferiche*. In questa ipotesi l'attrazione molecolare sarà sotto l'influenza delle forme e delle dimensioni delle molecole. La legge dell'attrazione delle molecole dovrà provare grandi anomalie, allorchè trovansi a distanze piccolissime rispetto alle loro dimensioni. Noi abbiam visto che per un corpo sferico l'attrazione ha luogo come se la sua massa fosse riunita al centro; ma se i corpi non han più questa forma, la loro attrazione è composta di due parti, l'una delle quali segue la ragione inversa del quadrato della distanza, l'altra che risulta dal difetto di sfericità, decresce secondo una potenza della distanza più grande del quadrato. Noi ne abbiamo un esempio nell'azione reciproca della terra e della luna. L'Astronomia c'insegna che lo schiacciamento della terra fa nascere, nei movimenti di questi due corpi, delle perturbazioni che sarebbero assai più marcate se le distanze loro fossero minori di quello che non sono, e che sparirebbero affatto, diventando più grandi queste distanze. Si vede da ciò che due corpi, qualunque sia la loro forma, sferici o no, s'attirano ad una grande distanza come se fossero sferici; ma a distanze piccolissime rispetto alle loro dimensioni, la loro forma non sferica modifica la forza generale d'attrazione, e fa così nascere una nuova forza che s'aggiunge alla prima, la quale aumenta con una rapidità assai grande a misura che la distanza diminuisce.

La forma non sferica delle molecole farà ancora variare la loro forza d'attrazione inegualmente, secondochè agiranno con parti più o meno distanti dal loro centro di gravità. Abbiamo visto doversi in parte a questa ragione, che la gravità è maggiore al polo che all'equatore.

Tutto ciò che abbiamo detto ragionando

sopra le masse, e che è il risultato dell'osservazione e del calcolo, può intendersi applicabile alle molecole, le quali quantunque per noi invisibili hanno pure dimensioni finite, e di cui le attrazioni sono le risultanti delle azioni parziali dei punti materiali che le compongono. La piccolezza delle molecole fa sì che distanze appena apprezzabili ai nostri sensi sieno come infinite relativamente alle loro dimensioni, e che per conseguenza l'influenza della loro figura non possa mostrarsi che a distanze per noi insensibili.

L'influenza della forma da noi ammessa onde spiegare la rapidità con cui l'attrazione molecolare diminuisce al crescere delle distanze, *ci* conduce ad ammettere che la densità delle molecole sia assai maggiore di quella del corpo formato colla loro riunione, e che quindi la distanza fra loro sia più grande del loro diametro. È in questo modo che giungeremo a spiegare l'energia grande di queste azioni molecolari. Riassumiamo pertanto queste viste teoretiche, che con un certo grado di probabilità ci sembrano spiegare l'attrazione molecolare: l'attrazione delle molecole considerata indipendentemente dalla loro forma e natura, produce la gravità e l'attrazione universale: l'influenza della loro forma e natura dà luogo, a piccolissime distanze, all'attrazione molecolare: infine l'attrazione delle molecole è dovuta all'attrazione dei punti materiali che le compongono.

V'è in natura una forza di cui l'effetto è contrario a quello dell'attrazione or ora esaminato. Ogni corpo che è riscaldato *si dilata*, o aumenta di volume. Questa palla di rame che io riscaldo, non passa più così riscaldata per quest'anello, mentre fra poco, allorchè sarà raffreddata, la vedrete cadere. Osservate questa sfera di vetro fatta soffiandola all'estremità di un tubo di vetro e con un processo che io qui non devo descrivervi: la sfera o palla e parte del tubo sono pieni di un liquido colorato che può essere qualsivoglia; notate ciò che accade allorchè immergo la palla nell'acqua calda. Nel primo istante dell'immersione vedete il liquido scendere, poi dopo poco comincia a salire, continua, e sale tanto più, quanto più è calda l'acqua. Vi sarà facile di render ragione di questo esperimento. La materia del recipiente in cui il liquido è contenuto sente la prima l'azione del calore, e si dilata, cresce così la capacità della palla, e il liquido discende; poi passato il calore al liquido, aumentando questo di volume assai più della materia del recipiente, la sua colonna si solleva e continua a sollevarsi. Infine vedete qui un tubo di vetro piegato ad U, e che termina in due grosse palle. Tutto è chiuso e pieno d'aria, meno che vi è una colonna di liquido nel tubo la quale separa l'aria delle due palle. Basterà che io avvicini la mano ad una delle palle perchè vediate da questa allontanarsi la colonna liquida; questo effetto è dovuto al calore della mano che dilata l'aria di una delle palle. Sapete ancora che riscaldando ghiaccio, zolfo, piombo ec., alla fine tutti questi corpi si fanno liquidi, e che col raffreddarsi ritornan solidi, diminuendo in generale del volume che avevano allo stato liquido. Sapete pur anche che l'acqua riscaldata si converte in vapore, il quale vedremo occupare un volume immensamente grande rispetto a quello del liquido che l'ha prodotto. In generale in tutti questi fenomeni il calore agisce sempre come un fluido di cui le molecole d'una tenuità estrema si respingono mutuamente, e agiscono sulle molecole dei corpi ponderabili allontanandole le une dalle altre. Vedremo più innanzi, che giudichiamo del grado di calore di un corpo dalla dilatazione più o meno grande prodotta in un dato volume di un corpo liquido, ed è questa varia dilatazione che chiamiamo *temperatura* del corpo.

Noi avremo dunque d'ora innanzi a considerare nei corpi: 1.º l'attrazione delle molecole ponderabili fra loro; 2.º la forza ripulsiva del calore interposto; 3.º l'azione reciproca delle molecole ponderabili e del calore. Noi manchiamo quasi affatto di dati sperimentali onde stabilire le leggi generali di questa azione reciproca fra calore a molecole. È certo però che da questa azione risulta lo stato molecolare dei corpi.

Non voglio condurvi per tutta una lezione nel campo delle ipotesi, tanto vasto quanto può volerlo la nostra immaginazione. Tutt'altro è lo spirito del nostro Corso; nel quale non ve ne dirò mai che quel tanto che, d'accordo coi fatti e non in opposizione con quello che l'esperienza e l'osservazione ci ha insegnato, crederò necessario ad appagare il bisogno che ha la nostra mente di generalizzare e di comprendere più ch'è possibile la ragione delle cose. Ecco dunque come possiamo renderci conto delle proprietà caratteristiche appartenenti ai diversi stati della materia. Nei corpi solidi le molecole sono in equilibrio, e rimangono perciò immobili sinchè una forza estranea non viene ad agire sopra di loro. Questo equilibrio è stabile non solo rispetto alla distanza dei centri di gravità delle molecole, ma bensì anche quanto alle loro posizioni relative. È così che alterando la distanza e la posizione delle molecole, il corpo può

riprendere la sua forma primitiva ritornando le molecole alle loro iniziali posizioni. Dando alle molecole un numero diverso di facce, possiamo anche intendere il diverso grado di spostamento di cui le molecole sono suscettibili senza distruggere la struttura del corpo. Per intendere la stabilità dell'equilibrio relativa alla distanza dei centri di gravità, basterà di ammettere che la forza ripulsiva del calorico provi, al variare delle distanze, variazioni d'intensità più grandi dell'attrazione molecolare. Ciò posto accadrà che ravvicinando le molecole, la forza ripulsiva crescendo più rapidamente dell'attrazione, diventerà maggiore di questa e tenderà a rimettere le molecole alla primitiva distanza: se invece le molecole si allontanino sussistendo sempre che la forza di repulsione diminuisca più dell'attrazione, al crescere della distanza diventerà questa seconda maggiore della ripulsione, e le molecole ritorneranno alla loro posizione. Misuriamo la forza di *coesione* dalla forza necessaria a separare le molecole: è chiaro dopo ciò che abbiamo detto, che questa forza di coesione si sviluppa solo al momento in cui le molecole vengono allontanate, ed è eguale perciò alla differenza della variazione dell'attrazione delle molecole e della ripulsione del calorico al variare della distanza fra queste.

Le molecole ponderabili trovandosi nei solidi in equilibrio ad una certa distanza, convien ammettere che la forza di coesione si manifesti allora solo che si tenta di separare le molecole.

Pei corpi liquidi, troviamo che la proprietà caratteristica della loro costituzione è la mobilità perfetta delle loro molecole: sotto tutte le forme una massa liquida presenta sempre lo stesso volume. In questo stato, per l'equilibrio stabile delle molecole, dovrà aversi riguardo unicamente alla distanza dei loro centri, e non alle loro posizioni rispettive. Convien perciò ammettere che nei corpi liquidi le molecole si attirano come se fossero sferiche, e fosse distrutta l'influenza della loro forma. Possono perciò prendere tutte le posizioni relative possibili, e quindi muoversi liberamente le une intorno alle altre, purchè le distanze dei loro centri di gravità si conservino. Anche in questi esiste la forza di coesione che si spiega allorchè si vogliono separare le molecole: questa forza, che può esser grandissima, benchè supposta nulla l'influenza della figura delle molecole, non deve confondersi colla viscosità che necessariamente porta nella nostra ipotesi l'azione di questa causa.

Infine nei corpi gassosi la forza ripulsiva del calorico predomina sulla forza d'attrazione; tendono perciò questi corpi continuamente ad aumentar di volume, ed esercitano un continuo sforzo contro gli ostacoli che vi si oppongono per ritenerli.

Dipende perciò dalla distanza delle molecole il togliere o in parte o totalmente l'influenza della forma delle molecole sulla loro attrazione: ed è perciò che il cambiamento di stato dal solido al liquido al gassoso, è prodotto dall'aggiunta più o meno grande del calore.

LEZIONE XIV.

Dello stato liquido dei corpi. — Mobilità dei liquidi. — Compressibilità dei liquidi. — Principio dell'eguaglianza di pressione. — Condizioni generali d'equilibrio dei liquidi.

Passiamo adesso ad un più minuto esame delle proprietà caratteristiche che appartengono ai diversi stati della materia, onde poi venire allo studio delle condizioni di equilibrio che convengono a questi diversi stati. Cominceremo dai corpi allo stato liquido.

Dicemmo che questo stato era eminentemente caratterizzato dalla perfetta mobilità delle molecole, nè occorre già che io vi faccia esperienze per provarlo, chè le molecole dei corpi liquidi possono spostarsi, muoversi in tutti i modi, senza che per questo lo stato del corpo si muti: le posizioni delle molecole, le une rispetto alle altre, sono interamente indifferenti. Non è perciò che questa mobilità debba intendersi assoluta. Sa ognuno di voi che in alcuni liquidi ella è minore che in altri: nei siroppi, negli olii la mobilità è minore che nell'acqua, in questa meno che nell'alcool e nell'etere.

Dietro ciò che si è avvertito sullo stato liquido, si dovrà ammettere che i liquidi devono essere compressibili. Si è messa in dubbio per lungo tempo questa compressibilità. L'Accademia del Cimento tentò di provarla adoperando un tubo ricurvo terminato in due palle, una delle quali con parte del tubo conteneva acqua, e l'altra era piena dello stesso liquido sino all'origine del tubo. Si osservò ciò che accadeva riscaldando una delle palle, e tenendo l'altra raffreddata nel ghiaccio. È certo che il

liquido dilatandosi, comprimeva lo strato d'aria che separava i due liquidi, e così veniva a trasmettersi una forte pressione sull'altra colonna. Nulladimeno gli Accademici non riescirono ad osservare nessuna diminuzione sensibile nel volume delle colonna d'acqua compressa. Vedremo più innanzi che questo effetto veniva dai vapori d'acqua che formati nel tubo riscaldato si condensavano nell'altro, e aumentavano così l'altezza del liquido a misura che la compressione tendeva a diminuirla. Non riescirono meglio facendo premere sopra una colonna d'acqua contenuta in un tubo una colonna di mercurio alta 24 piedi. Fu allora che s'indussero a comprimere una sfera d'argento esattamente chiusa e piena d'acqua, e che videro questo liquido trasudare dalle pareti. Ammisero perciò, che se pure esisteva la compressibilità dell'acqua, non potea scorgersi coll'esperienza. Canton però è tornato, molti anni dopo, sopra questa ricerca, ed ha scoperta e misurata la compressibilità dell'acqua. L'apparecchio che qui vedete (*Fig.* 23) fu in seguito immaginato da Oersted, ed è quello che noi chiamiamo piezometro. A B C D è la sezione verticale di un cilindro di vetro, chiuso in A B da una ghiera di ottone nella quale entra a vite il corpo della pompa E F G H; I K è una vite che serve a sollevare, e ad abbassare lo stantuffo *m*; *v s* è un tubo destinato ad introdurre l'acqua nel corpo della tromba dopo averne empito il cilindro; *t* è un *robinet* che chiude questo tubo. L'apertura laterale *u* del corpo di tromba serve a fare escir l'aria sin tanto che l'acqua entra pel tubo *v s*, ma tosto si chiude all'abbassarsi dello stantuffo: *a b* è un recipiente cilindrico di vetro terminato in un tubo capillare *c d*, ed è in questo tubo diviso in parti di eguale capacità e di cui si conosce il rapporto col volume del tubo, che si mette il liquido che si vuol comprimere. Prima di cominciare l'esperienza s'introduce nell'estremità del tubo capillare *c d* terminata ad imbuto, una goccia di mercurio che serve d'indice. Unito a questo apparecchio è un tubo *e f* pur di vetro ben calibrato aperto in basso, e che perciò riman sempre pieno d'aria. Allorchè al discendere dello stantuffo l'acqua è compressa, si vede scender l'indice di mercurio, e comprimersi nel tempo stesso l'aria contenuta nel tubo *e f*. Noi vedremo più innanzi come le diminuzioni di volume che avvengono nell'aria compressa, misurano la pressione esercitata sopra l'acqua. I sigg. Colladon e Sturm che hanno ripreso ultimamente questo studio, sostituirono con vantaggio una bolla d'aria all'indice di mercurio. Quest'ultimo muovesi difficilmente nei tubi molto capillari, e la sua colonna si lascia qualche volta dividere. L'unità di pressione adottata in queste ricerche è *il peso d'un' atmosfera*, che equivale a circa un chilogrammo per ogni centimetro quadrato. In seguito di molte esperienze fatte con pressioni varie da una a 24 atmosfere, si osservò che la contrazione o la diminuzione di volume per uno stesso accrescimento di pressione, diminuiva sensibilmente a misura che questa pressione era maggiore. La compressibilità trovata nei diversi liquidi è piccolissima: non citerò che i numeri determinati per alcuni liquidi. Nel mercurio per la pressione di un'atmosfera, la compressibilità cubica media è 0,00000338; per l'acqua 0,00004965; per l'alcool 0,00009165; per l'etere solforico 0,00012665. I numeri precedenti danno compressibilità cubiche medie osservate sotto delle pressioni comprese fra zero e venti atmosfere. Questa compressibilità dei liquidi è perciò estremamente piccola anche sotto pressioni molto forti. Farò osservare che i risultati ottenuti coll'apparecchio da noi descritto, devono esser corretti della diminuzione di volume che soffre la materia del recipiente in cui sta il liquido che si comprime, e che si trova essere quella stessa che proverebbe un cilindro di vetro tutto pieno nelle stesse circostanze.

Passiamo ora a determinare le condizioni d'equilibrio dei liquidi, e le pressioni che esercitano sulle pareti dei vasi che li contengono. Più forze agiscono permanentemente sopra di loro; l'attrazion molecolare, e la forza ripulsiva del calore che costituiscono lo stato liquido, la gravità che opera sui liquidi come sopra tutti gli altri corpi, qualunque sia il loro stato. Immaginiamo una massa d'acqua non soggetta all'azione della gravità; cesserà così d'esser pesante, non però d'esser liquida. In questo stato, qual'è il modo con cui si esercita e come si trasmette l'azione di una pressione qualunque esercitata sopra la sua superficie? Un principio generalmente ammesso, risultato di una costante osservazione e conosciuto sotto il nome di *principio d'eguaglianza di pressione in ogni senso*, risponde a queste questioni, e serve di fondamento alla teoria dell' equilibrio dei liquidi. Non piglieremo a dimostrare questo principio, posciachè sarebbe troppo difficile e forse impossibile a farsi in un modo intelligibile. Riguarderemo questo principio come un dato dell'esperienza, ammesso da tutti i Fisici e Geometri, senza tentare di risalire alle azioni molecolari da cui deriva. Cercheremo d' intenderlo chiaramente. Consideriamo

una massa liquida contenuta in un vaso di forma qualunque (*Fig.* 31), e supponiamola per un momento senza peso. Sulle diverse facce di questo vaso troviosi delle aperture munite di un corpo di pompa, ed ognuna di queste sia chiusa da uno stantuffo. Applicando una forza qualunque diretta dal di fuori al di dentro ad uno degli stantuffi, il liquido trasmette questa forza in senso contrario e interamente sopra ogni faccia anteriore degli altri stantuffi, dimodochè supposti questi di un'eguai superficie, rimarrebbero in equilibrio applicando a tutti la stessa forza, ed il liquido avrebbe così trasmesso in tutti i punti della sua superficie, ed egualmente, la forza sopra uno di questi applicata. Può dimostrarsi questo principio con un esperimento assai semplice. Immaginate un cilindro A B (*Fig.*22) nel quale si muove lo stantuffo M. Sia il cilindro terminato da una sfera C fornita di un gran numero di piccoli tubi applicati perpendicolarmente alla sua superficie. Piena la sfera ed il cilindro di acqua, se si abbassi lo stantuffo, si vedrà l'acqua uscire dai tubi in tutte le direzioni; per cui dovrà ammettersi che la pressione applicata immediatamente per mezzo dello stantuffo sulla superficie del liquido siasi trasmessa egualmente in tutte le direzioni. Questa pressione si esercita dunque, lo ripeteremo ancora, sopra tutti i punti delle pareti e perpendicolarmente, contro la base stessa dello stantuffo che preme, ed egualmente si trasmette nell'interno del liquido: se si consideri una porzione di liquido terminata da facce piane, o un poliedro solido che vi sia immerso, ognuna delle sue facce proverà delle pressioni eguali e dirette sempre normalmente dal di fuori al di dentro contro ognuna: e poichè una superficie curva qualunque può riguardarsi come un poliedro di un'infinità di facce, il principio dell'eguaglianza di pressione s'intenderà facilmente applicato anche a questo caso. È per questo stesso principio che un corpo sottilissimo, friabile quanto si vuole, non si rompe, non si piega per quanta sia la pressione che si fa subire al liquido in cui è immerso. Possiamo ora definire la pressione esercitata da un liquido sopra una superficie data qualunque: poichè tutti i punti sono egualmente premuti, la pressione totale che essa soffre dovrà essere proporzionale alla grandezza della sua area. Chiamiamo p il numero dei chilogrammi che rappresentano la pressione sopra l'unità di superficie; sarà p A la misura della pressione che da una massa liquida sarà prodotta contro la superficie A. La proprietà di trasmettere egualmente in tutti i sensi le pressioni esercitate sulla superficie d'un liquido, ci permette di moltiplicare a volontà questa pressione: basterà perciò d'ingrandire la superficie contro la quale il liquido reagisce.

Praticate due fori in un vaso pieno d'acqua, i quali sieno assai diversi di superficie, e muniteli ambidue di un corpo di pompa corrispondente. Supponete che uno di questi abbia una ampiezza 100 volte maggiore dell'altro. Chiudeteli con due stantuffi, ed applicate il peso di una libbra sul piccolo stantuffo: dopo ciò che si è detto, s'intende che la pressione comunicata contro la superficie dello stantuffo maggiore, dovrà essere di 100 libbre. Anche in questo caso però, non crediate che la *quantità di lavoro* sia accresciuta: la massa liquida non può aver cambiato sensibilmente di volume, ed il piccolo stantuffo avrà fatto una corsa 100 volte maggiore di quella fatta dal grande. Le lunghezze di queste corse sono in ragione inversa della superficie, e quindi anche delle pressioni. Moltiplicate da una parte e dall'altra la lunghezza della corsa, l'area o base dello stantuffo e la pressione, ed avrete lo stesso prodotto.

Sinchè nessun'altra forza, fuori dell'attrazione molecolare, agisce sopra un liquido, è chiaro che una massa liquida dovrà sempre prendere la forma sferica. Molecole assolutamente mobili e che tutte s'attirano egualmente in tutti i sensi, non possono, nel riunirsi, prendere altra forma: non v'è in somma che la forma sferica che soddisfi a questa condizione di simetria d'azione per tutti i sensi. Possiamo riconoscere coll'esperienza questa tendenza dei liquidi a prendere la forma sferica. Fate cadere alcune gocce di mercurio sopra un piano qualunque con cui non aderiscano, e le vedrete prendere la forma sferica, e tanto più esattamente quanto più ne è piccola la loro massa. Se la massa di queste gocce si fa crescere, la bolla si schiaccia, tende a farsi piana, e ciò avviene, come lo vedremo fra poco, per l'azione della gravità. L'acqua, l'alcool, tutti i liquidi sono in questo caso, purchè si osservino in piccole masse, e non sieno posti sopra corpi che essi *bagnino*, cioè con cui aderiscano. Ognuno di voi avrà visto piccole gocce sferiche di acqua formarsi sopra un piano o unto o coperto di polvere. Posso mostrarvi anche un'altra esperienza, per provarvi che i liquidi si conformano in masse sferiche allorchè non risentono l'azione della gravità. Si prepara perciò un liquido con alcool e acqua mescolati, di cui la densità sia quella stessa dell'olio d'oliva. Verso quest'olio nel liquido alcoolico, e veggo l'olio in grosse gocce tutte sferiche rimaner notante: si giunge con qualche cura a

riunire molte gocce insieme e a farne così una sola molto grossa.

Supponiamo ora una massa liquida omogenea sottoposta a delle forze qualunque. È chiaro che per la mobilità relativa delle molecole liquide, la risultante di tutte queste forze che operano sopra una molecola qualunque della sua superficie libera, cioè di quella che non è appoggiata sopra ostacoli fissi, dovrà esser sempre diretta dal di fuori al di dentro normalmente a tutti i punti di questa superficie; e se la massa è composta di liquidi di diversa densità, l'equilibrio non potrà sussistere, se non che allorquando saranno questi liquidi disposti a strati di eguale densità, e tutti terminati da superficie perpendicolari in ogni punto alla risultante delle forze, e perciò paralleli fra loro. Alla superficie libera di un liquido ogni sua molecola non può resistere ad una forza, se non se nel caso che questa operi perpendicolarmente sopra tutta la superficie. Applicate una forza obliquamente ad una molecola liquida che si trovi alla superficie: potrà sempre scomporsi in due altre, l' una perpendicolare che sarà trasmessa nella massa e non produrrà movimento, l' altra tangente che otterrà tutto il suo effetto.

Bisognerà ancora per l'equilibrio di una massa liquida, che ogni sua molecola soffra in tutti i punti pressioni eguali e contrarie. E infatti solo a questa condizione la molecola potrà rimanere senza alcun movimento.

Sin qui noi abbiamo considerato i liquidi indipendentemente dall' azione della gravità; ma è tempo che passiamo al caso reale e che li consideriamo come sono in natura, sottoposti all' azione della gravità. Per le leggi generali di equilibrio d' una massa liquida, che abbiamo esposto or ora, un liquido pesante contenuto in un recipiente qualunque, dovrà esser sempre terminato da una superficie perpendicolare in tutti i punti alla direzione della gravità o verticale del luogo. Perciò le acque del mare hanno in tutti i punti la loro superficie perpendicolare alla direzione di questa forza, per cui considerata una superficie estesa di queste acque, deve esso avere una forma sferica. Risovvenitevi di quanto dissi in proposito di questa direzione, e intenderete ora, come necessariamente la direzione della gravità debbe esser sempre perpendicolare a questa superficie. Noi possiamo ora anche intendere come avvenga qualche volta che questa superficie delle acque non sia più perpendicolare alla linea verticale: è quando le molecole liquide sono sottoposte ad altre forze oltre alla gravità, nel qual caso la superficie si dispone perpendicolarmente alla risultante di questa forza e delle altre che agiscono contemporaneamente. Di qui è che al polo si schiaccia la superficie del mare. La forza centrifuga si combina colla gravità, e la superficie delle acque si dispone per esser perpendicolare alla direzione della risultante di queste due forze. Al piede delle grandi montagne, la cui massa è capace di deviare il filo a piombo, l' acqua si solleva, s' inclina sulla vera verticale. Nello stesso modo avviene, che pel passaggio della luna al disop ra e al disotto dell'orizzonte del mare, la sua forza attrattiva sopra le acque si combina con la gravità per produrre una risultante che non è la verticale: di là il sollevarsi e il deprimersi della superficie mobile del mare, che per la rotazione della luna si succedono regolarmente producendo l' oscillazione periodica del flusso e riflusso. Vi sono ancora altri fenomeni che noi studieremo più a lungo in seguito, e nei quali la condizione generale dell' equilibrio dei liquidi non si verifica più. Osservate ciò che accade sulla superficie dell' acqua contenuta in un bicchiere; la superficie è piana in mezzo e sollevata all' orlo. In un tubo di vetro non molto largo la superficie dell' acqua è affatto concava. Anche in questo caso la gravità non è sola ad agire; v' è l' attrazione molecolare fra la materia del solido e il liquido, che vi si aggiunge e dispone insieme con quella la superficie del liquido in modo, da esser sempre perpendicolare alla risultante comune.

LEZIONE XV.

Pressione dei liquidi sul fondo e sulle pareti laterali dei vasi. — Centro di pressione. — Principio di reazione dei liquidi.

Osservammo in addietro come per l'azione della gravità debba la superficie libera di una massa liquida essere in tutti i punti perpendicolare alla direzione di questa forza; ma non è già questo il solo effetto della gravità sui liquidi che dobbiamo studiare. Accade dei liquidi quello che avviene di tutti i corpi; tutte le parti di un liquido sono sollecitate dalla gravità, tutte tendono per conseguenza a cadere, e premono perciò contro gli ostacoli che opponiamo a questa caduta. La costituzione dei liquidi, il

principio generale con cui in questi si distribuiscono le pressioni, danno luogo sopra questo proposito a considerazioni particolari onde giungere alla determinazione di queste pressioni. Importa, prima di tutto, di ben distinguere quella pressione che si distribuisce egualmente in una massa liquida e che è prodotta da una forza estrinseca, dalla pressione dovuta all' azione della gravità. La prima, che si designa col nome generico di *pressione idrostatica*, è eguale in tutti i punti della massa liquida; non è così dell'altra. Egli è facile di comprendere, che la pressione dovuta all' azione della gravità deve esser varia alle diverse altezze. La molecola immediatamente sottoposta alla molecola della superficie libera deve, per impedirne la caduta, resistere al peso di questa molecola : lo stesso accadrà di tutte le altre. Scendete a mano a mano nella massa liquida, considerate un filetto verticale liquido, e intenderete facilmente che la pressione sofferta dalle molecole andrà sempre crescendo, quanto è maggiore il numero di quelle che stanno sopra, delle quali è impedita la caduta, e di cui per conseguenza deve vincersi il peso. Queste pressioni appartengono nello stesso grado a tutti i punti di uno strato orizzontale, e pel principio su cui tanto abbiamo insistito, si distribuiscono in tutti i sensi, e non sono distrutte per tutta la massa che dalla resistenza delle pareti. Si risolvono perciò in tante pressioni dirette normalmente alla superficie premuta. Un liquido contenuto in un vaso preme contro le pareti laterali del vaso, e noi dobbiamo imparare a valutare queste pressioni. Cominciamo da quella che il liquido esercita contro la base, o fondo del vaso. Sceglieremo il caso più semplice, prendendo un tubo perfettamente cilindrico. Egli è evidente che la pressione esercitata contro la base di tutte le molecole che vi son contenute è eguale al peso di tutte queste molecole, o, ciò che torna lo stesso, al peso di una colonna liquida cilindrica, avente per base la superficie di questo fondo, e per altezza l' altezza del liquido, cioè la distanza del fondo dalla superficie di livello. Noi potremo perciò esprimer questa pressione con $P=gdAB$, in cui g è l' intensità della gravità, della quale già abbiamo dato il valore in numeri, d la densità del liquido che si considera, A la sua altezza, e B l' estensione o superficie della base. Poichè g ha in tutti i casi lo stesso valore, e d è costante per uno stesso liquido, noi avremo per misura della pressione esercitata contro la base di un recipiente cilindrico, il prodotto B A della base premuta per l'altezza del liquido che preme. Noi partiremo di qui per concepire qual deve essere la pressione in ogni punto della massa liquida, e quale questa pressione nei vasi di forme diverse o immaginate in un modo irregolare qualunque. Dopo ciò che si è detto s' intende facilmente che tutti i punti di uno strato orizzontale qualunque di una massa liquida devon sopportare una stessa pressione, e che questa deve esser la stessa in tutti i sensi: una molecola infatti non è in equilibrio in una massa liquida se non se quando le è impedito di cadere, di salire, di muoversi a diritta o a sinistra. Ma quale è questa pressione, come può misurarsi ? Introducete un tubo di vetro, di metallo, di legno, o di quale altra materia vi piaccia, aperto dalle due parti, in una massa liquida : osservate che nel tubo il liquido ha lo stesso livello che ha il liquido che lo circonda da tutte le parti. Poichè la colonna liquida contenuta nel tubo tende a cadere, è pesante, e vedesi tuttavia rimanere in equilibrio, è necessario che alla sua caduta si opponga un ostacolo, ed è evidente altresì che questo ostacolo proviene dalla pressione esercitata dal resto della massa liquida che circonda quella contenuta nel tubo. La pressione sullo strato orizzontale comune, quella che distrugge il peso della colonna liquida contenuta nel tubo, sarà perciò diretta in senso contrario di questa pressione, e uguale al peso della colonna liquida sostenuta. Possiamo variare in mille modi la forma, l'ampiezza di questo tubo immerso, aprirlo inferiormente in tutte le direzioni possibili, e vedremo sempre il liquido conservarsi in tutti i casi alla stessa altezza del liquido esterno che lo circonda. Ma ad ogni orifizio l' acqua contenuta nel tubo tende a discendere, ed esercita una pressione eguale al peso del liquido contenuto nel tubo. Poichè ognuno dei tubi resta pieno, è di tutta necessità che lo strato del liquido che si trova all' orifizio sia premuto in senso contrario della gravità dal liquido circostante, e con una forza eguale alla pressione che esercita contro questo orifizio per cadere. Posso mostrarvi con una esperienza assai semplice la verità di questo principio. Osservate questo tubo (*Fig.* 14.) aperto alle due estremità. Applico contro l' orifizio una lastra di metallo o di vetro che lo chiude esattamente. Così disposto io lo introduco in una massa liquida. Vedete che per poco che il tubo sia immerso, è inutile che lo sostenga quel fondo posticcio. Non cade, e non cade poichè il liquido che lo circonda esercita contro di lui una pressione diretta di basso in alto. Questa pressione cresce sempre a misura che immergo maggiormente il tubo, e posso provarvi facilmente che in tutti i

punti fa equilibrio , ed è perciò misurata dal peso della colonna liquida che vi si troverebbe , se il tubo si fosse introdotto senza il fondo posticcio. Difatti versata acqua nell' interno di questo tubo , ed in qualunque posizione teniata il tubo immerso , osserverete che al momento in cui il liquido trovasi alla stessa altezza e nell' interno del tubo e nel liquido esterno, il fondo posticcio cade : il che vuol dire che allora solo la due pressioni del liquido interno per cadere, e del liquido esterno per impedir la caduta , si fanno equilibrio , e il fondo cade pel proprio peso. Ma eccovi un' altra esperienza , la quale vi conferma la verità di questi principi. Osservate questo tubo (*Fig.* 18) egualmente aperto alle due estremità , e munito esso pure di una lastra di vetro ben levigata che io applico come fondo nell' acqua. Appena il tubo , come nell'altro caso , è di tanto introdotto che il peso del liquido che vi entrerebbe se non vi fosse la lastra , supera il peso della stessa lastra , essa non cade più , e la pressione diretta contro questa di basso in alto va sempre crescendo a misura che discendo col tubo nella massa liquida. Applico sulla lastra o fondo posticcio , un treppiede che porta in alto un piccol bacino. Misuro la pressione contro il fondo con pesi che pongo sullo stesso bacino , ed ottengo così i risultati dell' esperimento precedente.

Questi principi ci bastano per intendere come va misurata la pressione d'un liquido sul fondo, qualunque sia la forma del vaso. E ci basterà di ammettere come provato dall' esperienza e dal ragionamenti fatti , che *tutti i punti di uno strato orizzontale qualunque di una massa liquida omogenea soffrono la stessa pressione , e che la somma delle pressioni sofferte da questo strato è eguale al peso di un cilindro liquido che ha per base la superficie dello strato liquido che si considera , e per altezza la sua distanza dalla superficie di livello.*

Intenderemo ancora di leggieri che la pressione esercitata da un liquido sopra una estensione infinitamente piccola di una parete, in qualunque modo sia collocata, cioè orizzontale verticale o inclinata , deve essere in tutti i casi perpendicolare a questa estensione. La pressione del liquido deve, pel suo equilibrio, esser interamente distrutta dalla resistenza di questa superficie ; il che non può mai essere se non se quando essa resiste perpendicolarmente alla sua direzione. La pressione che soffrirà ogni porzione infinitamente piccola di una parete deve esser sempre eguale al peso della colonna liquida che ha per base l' estensione della parete che si considera , e per altezza la sua distanza dalla superficie del liquido. Fate dei fori nella parete di un vaso qualunque sia ; applicate degli ostacoli , degli stantuffi se volete, e vedrete che la pressione del liquido per escire, allora solo sarà vinta, che il peso applicato ad ogni stantuffo sarà eguale al peso di una colonna liquida avente per base l' area dell' orifizio e per altezza la sua distanza dalla superficie di livello. Potete assicurarvi maggiormente con un esperimento ben facile , di questi principi. Applicate verticalmente ai fori fatti nella pareti d' un vaso tubi cilindrici , a vedrete che in tutti il livello del liquido s' innalza come nel vaso : per cui convien concludere, che la pressione contro lo strato liquido posto in luogo della parete è ben eguale al peso di una colonna liquida che dalla superficie di livello arriverebbe fino al punto della parete tolta.

Possiamo intender ora facilmente come nei tre vasi (*Fig.* 19 , 20 , 21) i quali hanno la stessa superficie orizzontale o fondo , e che contengono il liquido alla stessa altezza , la pressione sul fondo sia la medesima a *perciò affatto indipendente dalla forma del rimanente del vaso.*

Abbiamo un apparecchio (*Fig.* 23) assai semplice che dimostra questo principio : A B C D è una cassa di legno su cui è fisso un cilindro di ottone E F G H nel quale si muova liberamente uno stantuffo M N , sostenuto da un cordone fisso all' estremità dell' asta di una specie di bilancia. Sopra questo cilindro si montano a vite vasi di forma diversa e si empiono di acqua. Or bene ; si osserva che allorquando il liquido giunge in tutti questi vasi alla stessa altezza , la pressione contro lo stantuffo o base del vaso, è misurata da un egual peso attaccato all' estremità della bilancia.

Considerate il vaso (*Fig.*20) che si stringa in alto : in ogni strato orizzontale la pressione che soffrono tutte le molecole è la stessa , per cui quella molecola che è contigua alla pareta e che non ha liquido sopra, soffre per la resistenza della parete una pressione eguale a quella che soffrirebbe se le sovrastassa una colonna liquida alta quanto lo è il liquido nel vaso. Preme perciò le molecole sottoposte e quindi il fondo, come se avesse il liquido sopra di se. Al contrario se la figura del vaso è tale (*Fig.*21) che si allarghi in alto, e che le sue pareti divergano dal fondo, è chiaro che quelle molecole di cui la verticale cade sulle pareti laterali inclinate, premono su queste e non sul fondo.

Potremmo rappresentarci egualmente questo principio ritornando di nuovo a considerare come il liquido si conservi alla stessa altezza nei tubi immersi , qualunque sia la loro figura. In questi casi il livello del

liquido nei tubi si mantiene come nel resto del liquido esteriore, qualunque sia la grossezza delle pareti; per cui immergendo vasi aperti come quelli delle *Fig.* 20, 21, potremmo immaginar tutto solido lo spazio compreso fra la parete inclinata e la parete verticale dei cilindro che ha la stessa base. La pressione sulla base sarebbe dunque per tutti eguale al peso di una colonna liquida avente per base la base del vaso, e per altezza la profondità del liquido.

Deducesi facilmente da ciò come la pressione di un liquido sul fondo di un vaso possa essere maggiore, minore o eguale al peso del liquido contenuto: è eguale se il vaso ha le pareti laterali perpendicolari alla base come pel cilindro, pel prisma retto ec, è maggiore se il vaso si stringe in alto, è minore se si allarga. Vedesi egualmente come si possa sopra una data superficie o base del vaso e con una certa quantità di liquido, esercitare una pressione varia quanto si vuole, e che basterà perciò costruire il vaso più o meno alto. Quanto più per la forma del vaso il liquido vi si terrà alto, tanto più sarà grande la pressione sul fondo.

Abbiamo molto insistito sopra questo principio, perchè sulle prime sembra un paradosso che una stessa quantità di liquido possa esercitare pressioni tanto diverse sul fondo: ma una tale apparenza nasce dal confondere la pressione del liquido sul fondo del vaso colla pressione esercitata dal vaso stesso sul corpo o piano che lo sostiene. Quest' ultima è in tutti i casi eguale al peso del liquido e del vaso, qualunque ne sia la forma. E infatti s' intende facilmente che questa pressione sul piano deve essere maggiore della pressione sul fondo, allorchè il vaso s'allarga in alto, perchè i filetti verticali del fluido che partono dalla superficie e sono intercettati dalle pareti laterali, non premono sul fondo del vaso, e così le pareti laterali sostengono il peso di quella parte del liquido che non è compresa fra i piani verticali che limitano la base: deve poi essere minore quando il vaso si stringe verso la superficie, perchè i filetti verticali che partono dal fondo del vaso e sono intercettati dalle pareti laterali esercitano nulladimeno la stessa pressione verticale sul fondo come se si prolungassero fino alla superficie: ciò che manca al peso di ciascun filetto è rimpiazzato dalla resistenza di quel punto delle pareti a cui terminano. Le pareti laterali provano una pressione diretta di basso in alto, che tende a sollevare il vaso, e che è eguale al peso del liquido che sarebbe compreso fra le pareti inclinate e le verticali. In tutti i casi la somma o la differenza delle pressioni verticali sulle pareti e sulla base è eguale al peso totale del liquido.

Ora dunque ci è dato di determinare il valore totale della pressione di un liquido sulle pareti laterali, posciachè ci è chiaro che un punto di una parete laterale è premuto normalmente con quella stessa pressione che soffre in tutti i punti lo strato orizzontale con cui è a contatto. Dal che viene, che ogni punto di una parete laterale soffre una pressione proporzionale alla sua profondità: e perchè sia costante per una data estensione, convien considerarla infinitamente piccola di altezza. Potremo perciò rappresentarci la pressione totale sopra una parete laterale, con un sistema di forze parallele che crescono proporzionalmente alla profondità: la loro somma esprimerà la pressione totale. E intende ognuno che questa pressione nulla alla superficie, e massima al fondo per esser dovuta all' altezza totale del liquido, è in totalità misurata dal peso d'una colonna liquida avente per base la estensione della parete e per altezza una linea media, eguale cioè alla metà dell' altezza del liquido. Quest' altezza media si trova colla Meccanica eguale in ogni caso alla distanza del centro di gravità della parete dalla superficie di livello.

Se queste pressioni laterali esercitate sulla parete fossero costanti a tutte le altezze e quindi eguali fra loro, vedesi che la risultante loro passerebbe pel centro di gravità della parete; ma noi sappiamo bene che non è così. Le pressioni aumentano colla profondità, e perciò il punto d'applicazione della risultante di tutte le pressioni elementari è più basso del mezzo della parete e del suo centro di gravità. Questo punto singolare dicesi *centro di pressione*: è contro questo che dovrebbe applicarsi perpendicolarmente una forza per far equilibrio alla pressione totale sulla parete. In un vaso cilindrico, la linea sulla quale si trovano i centri di pressione è un circolo distante dalla superficie del liquido di 2/3 dell' altezza totale del liquido stesso; per un vaso conico di cui il fondo è un punto, la linea dei centri di pressione è un circolo egualmente distante dal fondo e dal livello del liquido; e quando il cono ha la base in basso, la linea dei centri di pressione è posta a 3/4 dal livello.

Questi principi sono importanti nella pratica: così volendo costruir vasche, vasi ec., si dà sempre alle pareti tanto più di grossezza quanto più si avvicinano al fondo, e tanto più si fanno resistenti quanto più è grande il diametro dei recipienti, o l' estensione orizzontale della superficie premuta.

Noi possiamo dedurre la verificazione de

principî idrostatici esposti, da altri fatti. Le pressioni sul fondo che tendono a far discendere il vaso, sono distrutte dall'ostacolo o piano su cui posa. Ma come mai si distruggono le pressioni laterali? È forza che così sia, poichè un vaso per quanto liquido contenga, per quanta sia la pressione interna che prova, pur non tende mai a trasportarsi, a muoversi per alcuna parte. La ragione è evidente; le pressioni orizzontali di un liquido, le pressioni contro le pareti, sono necessariamente, dopo ciò che si è detto, eguali e dirette in senso contrario per due punti direttamente opposti. Si distruggono perciò fra loro, e il vaso non può prendere nessun movimento. È così vero questo principio, che se si fa nella parete d' un vaso un' apertura per cui esca il liquido, non essendo più distrutta la pressione diretta nel punto opposto della parete tolta, il vaso è spinto in questo senso, e si muove dalla parte contraria a quella da cui esce il liquido. Onde facilmente osservare questo movimento, convien distruggere gli attriti e l'azione della gravità. Si trasforma perciò il movimento di traslazione in un movimento di rotazione. Al quale effetto si costruisce una spirale con un tubo di vetro o d'altro che si fa mobile intorno ad un asse, e che termina in alto con un recipiente, in basso con un orifizio. Appena empita d'acqua comincia questo liquido ad uscire, e la spirale si mette a rotare in direzione contraria a quella in cui esce il liquido. Questo principio è conosciuto sotto il nome di *principio di reazione*, e ci varrà più innanzi a spiegare molti fenomeni.

LEZIONE XVI.

Equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti. — Equilibrio dei corpi galleggianti. — Bilancia idrostatica, — Determinazione dei pesi specifici. — Areometro.

Studiate le condizioni generali dell'equilibrio del corpi liquidi e le pressioni che questi esercitano contro le pareti dei vasi, ci resta ad esaminare il caso di due o più vasi di forma qualunque comunicanti fra loro per un canale inferiore, e pieni di un liquido omogeneo. Immaginate in questo canale inferiore una parete verticale mobile, uno stantuffo, una membrana qualunque che separi il liquido: è evidente che non potrà esservi equilibrio per la massa liquida, se non se quando questa parete mobile sarà egualmente premuta sulle sue due facce. Abbiamo già imparato a determinare queste pressioni, e sappiamo che sopra la parete verticale che abbiamo supposta nel canale di comunicazione, la pressione orizzontale deve unicamente dipendere dall'altezza o distanza della superficie del liquido dal centro di gravità di questa parete. Non può dunque sussistere l'equilibrio, nel caso di uno stesso liquido contenuto in due o più vasi messi in comunicazione, se non che quando il liquido sarà in tutti nello stesso livello, o, ciò che torna lo stesso, bisognerà che la superficie libera del liquido nei diversi tubi sia per tutti alla stessa altezza verticale da un piano orizzontale. E poichè abbiamo visto che queste pressioni sopra una data superficie non dipendono che dall'altezza del liquido, e sono costanti qualunque sia la forma o la dimensione dei vaso, dovrà sussistere la condizione d'equilibrio or ora esposta pei tubi comunicanti, qualunque sia la forma e la dimensione relativa dei vasi che contengono il liquido e che comunicano fra loro. Può facilmente verificarsi questa legge per mezzo dell'apparecchio che qui vedete (*Fig.* 27). A è un vaso di vetro di una grande capacità, munito inferiormente d' un tubo orizzontale sul quale sono fissati dei tubi di vetro B, C, D, di dimensioni e forme prese ad arbitrio. Introducendo dell'acqua, o un liquido qualunque per uno di questi tubi, si vedrà salire in tutti allo stesso livello. Questo apparecchio mette in evidenza quei principio su cui abbiamo tanto insistito nella lezione passata. Si vede cioè, che è possibile di fare equilibrio ad una massa di liquido assai grande contenuta in un largo vaso, con piccolissima quantità dello stesso liquido contenuto in un secondo vaso comunicante col primo e molto più stretto. S' intende ancora facilmente che è possibile di sostituire in ognuno dei tubi ad una parete della colonna liquida uno stantuffo su cui si eserciti una pressione equivalente al peso del liquido che vi era contenuto, con che l' equilibrio non cesserà d'aver luogo. Sopra questo principio si fonda lo *strettoio idraulico*.

Se in luogo di uno stesso liquido noi avremo in ognuno dei tubi messi in comunicazione un liquido di diversa densità, è chiaro che l'altezza sul piano orizzontale della loro superficie di separazione, sarà diversa pei diversi liquidi. Perchè i liquidi contenuti nei diversi vasi e supposti di diversa densità sieno in equilibrio, dovranno le altezze

delle colonne liquide nei diversi tubi esser tali de produrre la stessa pressione sopra la parete verticale mobile supposta nel tubo orizzontale di comunicazione: bisognerà perciò che *queste altezze sieno in ragione inversa delle densità*. Difatti la parete verticale di cui chiamerò S l'area, soffre dal liquido contenuto in uno dei tubi, una pressione che sappiamo doversi esprimere con $g\,S\,A\,d$, chiamando A l'altezza del liquido al di sopra dal centro di gravità della parete S, d la densità di questo liquido e g la forza acceleratrice della gravità: la pressione che soffrirà la stessa parete S dal liquido contenuto nell'altro tubo sarà pure espressa da $g\,S\,A'\,d'$. Per l'equilibrio bisognerà che questi due prodotti sieno eguali. I due termini comuni g ed S soppressi, dovrà essere $A\,d = A'\,d'$, da cui $A : A' :: d' : d$; cioè che le altezze dei liquidi al di sopra del piano orizzontale della loro superficie di separazione devono esser fra loro in ragione inversa della densità. Voi vedete qui un tubo di vetro piegato ad U, nel quale una colonna di mercurio contenuta in uno dei bracci e alta un pollice, fa equilibrio ad una colonna d'acqua contenuta nell'altro braccio e alta circa 14 pollici, ed appunto il mercurio è circa 14 volte più denso dell'acqua. Sopra questo principio può costruirsi un apparecchio assai comodo per dimostrare che le pressioni dei liquidi sono indipendenti dalla forma dei vasi che li contengono: *a b c d* (*Fig.* 23) è un tubo piegato ad U fissato nella cassa M N. L'estremità *a* è terminata da una ghiera più larga del tubo, sulla quale può fissersi a vite un'altra ghiera portante un vaso d'une forma qualunque. L'altra estremità *d* è terminata da un tubo più stretto *e f*, lungo il quale si muove un anello *g h* che serve d'indice. Si riempie il tubo *a b c d* di mercurio, e poi sull'estremità *a* s'innestano a vite successivamente dei vasi di diverse dimensioni, e tutti s'empiono d'acqua alla stessa altezza. Si osserva allora che qualunque sia stato il vaso adoprato, la colonna di mercurio si è alzata egualmente per tutti.

Questi principî d'Idrostatica s'applicano egualmente al caso delle grandi masse liquide sparse sulla superficie della terra: è per queste stesse leggi che la vasta superficie del mare conserva una forma permanente intorno al globo. Per altro non debbo tacervi che livellazioni dirette eseguite sopra diversi mari, hanno scoperto un fatto assai importante, e che non si accorda, almeno nello stato attuale delle nostre cognizioni sulla composizione interna del globo, coi principî stabiliti. Da coteste livellazioni è risultato, che il livello del mar Rosso s'innalza al di sopra del livello del Mediterraneo di circa 10 metri nell'alta marea, e di circa 8 nella bassa: che il mare del Sud a Callao s'innalza di 7 metri sopra l'Oceano a Cartagena. Ripeto, che noi ignoriamo tanto la composizione interna del globo, che non ci è possibile determinare qual deve essere la vera curvatura della superficie delle acque. Certo è però, che grandi caverne sottoposte alla crosta terrestre, masse molto dense raccolte in altri punti, renderebbero assai ineguale l'azione della gravità sui punti corrispondenti della superficie, e la superficie delle acque dovrebbe, per queste azioni ineguali, subire in alcuni luoghi delle depressioni, in altri dei rigonfiamenti.

Prima di dar termine a questi principî d'Idrostatica, debbo ancora parlarvi dell'equilibrio dei corpi immersi. Ricordate la esperienza fatta con un tubo di vetro aperto dalle due parti e munito di un fondo posticcio (*Fig.* 14). Immergendo quel tubo in un liquido, il fondo posticcio era premuto di basso in alto dal liquido circostante, e queste pressione o *spinta* del liquido s'accresceva necessariamente a misura che il tubo era immerso ad una maggiore profondità, e veniva in tutti i casi misurata dal peso della colonna liquida che avea per base la base premuta o il fondo che si considera, e per altezza la sua profondità dalla superficie di livello. Difatti cadeva il fondo posticcio al momento che l'acqua versata dentro il tubo giungeva alla stessa altezza che al di fuori. Immaginate adunque un corpo solido immerso in un liquido; egli occupa un certo spazio che è necessariamente quello stesso del liquido da lui spostato, e il liquido in cui è immerso esercita per conseguenza contro la sua faccia inferiore una pressione di basso in alto come abbiam visto nell'esperienza citata: la quale pressione è eguale al peso della colonna liquida contro cui, prima del corpo immerso, si esercitava, e perciò eguale al peso di un volume di liquido eguale a quello del corpo. Questo principio sussiste in qualunque punto della massa liquida voi supponiate immerso il corpo. Nell'esperienza che ho descritta, la spinta cresceva scendendo nel liquido, perchè cresceva la profondità della colonna liquida spostata; nel caso del corpo solido, la spinta di basso in alto e eguale a tutte le altezze, perchè è chiaro che la pressione di alto in basso prodotta dal liquido sovrapposto al corpo varia scendendo nella massa liquida, e varia nelle diverse stazioni come l'altra diretta di basso in alto: la spinta del liquido, o la pressione di basso in alto, avrà sempre guadagnato una parte di

pressione eguale al peso del volume di liquido spostato dal corpo immerso. Noi intendiamo ora facilmente il famoso principio d'Archimede, che s'annuncia in questi termini: *un corpo immerso in un liquido perde una porzione del suo peso eguale al peso del liquido che sposta*. Ed infatti quella spinta della massa liquida, o pressione di basso in alto, si esercita in direzione contraria a quella della gravità, e perciò deve distruggere una porzione del peso del corpo. Lo distruggerà intieramente e il corpo immerso sarà in equilibrio, allorquando il peso del corpo sarà eguale al peso del liquido spostato, nel qual caso avranno tutti e due la stessa densità. Per l'equilibrio del corpo immerso si richiederà ancora che le due forze applicate al corpo, cioè il peso e la spinta del fluido, si trovino sulla stessa verticale, e quindi bisognerà che il centro di gravità del corpo e quello del fluido spostato soddisfino a questa condizione. L'equilibrio sarà stabile allorchè il centro di gravità del corpo immerso sarà nel punto più basso possibile. Per un corpo omogeneo s'intende facilmente che il suo centro di gravità dovrà coincidere col centro di pressione, e basterà per l'equilibrio che il liquido e il corpo immerso abbiano la stessa densità. Ma cosa accadrà variando la densità del liquido? È facile a prevedersi, per i principi esposti. Questa palla di cera che nuota indifferentemente in tutti i punti di una massa d'acqua, cade al fondo immersa nello spirito di vino, galleggia sul mercurio. In questi diversi casi la perdita di peso che soffre il corpo dipende sempre dal peso del liquido che scosta. Per un liquido meno denso dell'acqua come lo spirito di vino, un volume del liquido eguale a quello della palla pesa meno della palla e di un egual volume di acqua; non è perciò distrutto interamente il peso della palla, e quindi cade. Nel mercurio un volume di questo liquido assai minore di quello della palla, pesa come tutta questa, per cui basta a distruggere il suo peso che una sola porzione ne sia immersa.

Vi è perciò per l'equilibrio dei corpi galleggianti la stessa condizione che per l'equilibrio dei corpi immersi, e anche per questi il centro di gravità del corpo e il centro di pressione del liquido devono trovarsi sulla stessa verticale. La sola condizione di stabilità è diversa: posciachè non è necessario, pei corpi che galleggiano, che il loro centro di gravità sia al disotto del centro di pressione. La meccanica insegna a determinare un punto che chiamasi *metacentro*, e insegna pure che basta per l'equilibrio stabile dei galleggianti, che il loro centro di gravità sia al disotto di questo punto.

La natura ha fornito i pesci di un organo particolare che serve ad alleggerire le parti superiori del loro corpo, e a tenerli in tal guisa nello stato di equilibrio stabile dentro il liquido in cui sono immersi. Quest'organo è la così detta *vessica natatoria*. Comprimendo o gonfiando a volontà questa vessica, i pesci possono eseguire i movimenti loro d'alto in basso, e di basso in alto. Difatti restando sempre costante il loro peso, coll'accrescere o il diminuir di volume rendono maggiore o minore la spinta del liquido contro di loro, o in altri termini, spostando più o meno liquido perdon più o meno del loro peso.

Possiamo descrivere ancora un'esperienza che prova evidentissimamente il principio d'Archimede, su cui tanto abbiamo insistito. L'apparecchio adoperato consiste in una bilancia comune, che ha degli uncini fissi nella parte inferiore dei suoi piatti. A e B (*Fig.* 34) sono due cilindri di metallo sospesi, l'uno al disotto dell'altro, ad un piatto della bilancia. Il cilindro B è massiccio, l'altro A è una specie di secchio, di cui l'interna capacità è esattamente eguale al volume del cilindro pieno B: in una parola, B entra esattamente dentro A. Si comincia dal pesare i due cilindri così sospesi l'uno al disotto dell'altro, e stabilito l'equilibrio si fa pescare nell'acqua il cilindro B. Immediatamente la bilancia trabocca dalla parte dei pesi: il cilindro immerso ha perduto una porzione del suo peso, ed è facile di provarvi per la disposizione descritta, che questa porzione perduta è esattamente eguale al peso di un volume d'acqua simile al volume del cilindro B. Non ho che a versare dell'acqua nel cilindro A, e tosto che sarà pieno, l'equilibrio della bilancia sarà di nuovo ristabilito. Ho aggiunto così un peso esattamente eguale a quello dell'acqua spostata dal cilindro immerso. La bilancia munita d'uncini nella parte inferiore dei suoi piatti, e che è disegnata nella *Fig.* 34, è quella che chiamasi *bilancia idrostatica*.

È tempo che noi diciamo come questo apparecchio possa servire alla determinazione del peso specifico dei corpi. Risovvenitevi che per questa ricerca ci bastava di conoscere il peso assoluto di un volume d'acqua eguale a quello del corpo. Noi sappiam ora come ottenere il peso di un volume d'acqua eguale a quello di un corpo qualunque: lo pesiamo prima nell'aria, poi sospeso con un filo finissimo all'uncino della bilancia idrostatica, lo pesiamo immerso nell'acqua. La diminuzione di peso che egli soffre in questa seconda pesata è appunto il peso del volume d'acqua eguale al suo volume. Non abbiamo

più che a dividere il peso assoluto del corpo per il peso che ha perduto essendo immerso nell' acqua, per ottenere il peso specifico del corpo riferito a quello dell'acqua che prendesi per unità. In luogo di questa bilancia che abbiam descritto, s'usa ancora un apparecchio assai semplice, che conserva sempre il nome del suo inventore, ed è la bilancia di Nicholson, disegnata nella *Fig.* 32. Consiste quest' apparecchio in un cilindro metallico vuoto A B C D, terminato superiormente e inferiormente dai due coni EAB, ed FCD. Il primo porta un' asta metallica E G terminata dalla capsula MN: all'estremità del secondo è sospesa liberamente una capsula P piena di piombo. Quest'apparecchio immerso nell'acqua verticalmente, trovasi in equilibrio stabile, e il peso posto in basso è tale, che s'immerge sino alla linea *a b*: si traccia sull'asta E G un punto *o* che serve a darci un punto fisso d'immersione. Allorchè si vuole con questo apparecchio avere il peso specifico di un corpo, si comincia dal determinare il peso di cui deve essere caricato il piatto MN della bilancia perchè s'immerga fino al punto o: si tolgono allora i pesi, si mette il corpo di cui si cerca il peso specifico, e insieme vi si aggiungono tanti pesi quanti ne occorrono perchè l'apparecchio s'immerga sino al punto o. È chiaro che la differenza dei pesi impiegati in queste due operazioni ci dà esattamente il peso del corpo, come potrebbe aversi da una bilancia comune. Si passa allora il corpo nella capsula inferiore, e s'immerge di nuovo l'apparecchio nell'acqua. È certo che il punto o escirà fuori dal liquido e che il peso che dovrò aggiungere sul piatto MN perchè l'apparecchio s'immerga sino ad *o*, sarà il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo.

Non mi starò a descrivervi tutte le precauzioni che si richieggono per la determinazione esatta del peso specifico dei corpi; posciachè mi dilungherei troppo in cose d'altra parte assai facili ad intendersi e toccherò solo le più importanti. Quando s'abbia a determinare il peso specifico di corpi ridotti in polvere finissima, si prenderà una boccetta di vetro il cui turacciolo lavorato a smeriglio lo chiuda esattamente. S' empirà d'acqua, e posta insieme col corpo sopra un piatto d' una bilancia, si metterà in equilibrio con corpi qualunque posti sull' altro piatto. Ciò fatto, s' introdurrà il corpo in polvere nella boccetta, che si richiuderà poi esattamente dopo averla bene asciugata. S' aggiungeranno a questo piatto alcuni pesi per ristabilire l' equilibrio, ed è certo che questi rappresenteranno il peso dell'acqua escita, e quindi il peso d' un volume d'acqua eguale a quello del corpo. Importa assai che il turacciolo abbia una piccolissima apertura da cui possa liberamente escir l' acqua, potendosi così introdurre sempre sino allo stesso punto. Non trascurerò di dirvi una precauzione troppo importante in questo caso: è quella di liberare le particelle del corpo dall' aria interposta. Vi si riesce con due processi, che intenderemo più innanzi: sono, o di mettere la boccetta piena d'acqua e in cui già s'introdusse la polvere, nel vuoto della macchina pneumatica, o di far bollire l'acqua in cui si è immersa la polvere. Volendo adoperare la bilancia idrostatica, o quella di Nicholson nel caso dei corpi più leggieri dell'acqua, s'aggiunge alla capsula inferiore o all'uncino della bilancia, una specie di rete concava verso il basso, nella quale si dispone il corpo entro l' acqua senza timore che ne esca. Vi sono però corpi che si sciolgono nell' acqua o vi si decompongono, e in questo caso non può ricorrersi ai processi che abbiam descritto. Allora si determina la densità del corpo relativamente ad un liquido in cui non s'alteri, e moltiplicando questa densità per quella già nota del nuovo liquido adoprato, s'ottiene la densità del corpo rispetto all'acqua, come si sarebbe ottenuta potendolo pesare in questo liquido. Di fatti sia P il peso del corpo, P' il peso d'un egual volume del nuovo liquido adoperato, P'' il peso d'un egual volume d'acqua, D la densità del corpo che si cerca, D' la densità del corpo trovata rispetto al nuovo liquido adoperato, e D'' la densità di questo liquido; dovrà essere

$$D=\frac{P}{P''},\ D'=\frac{P}{P'},\ D''=\frac{P'}{P''},\text{da cui } D=D'D''.$$

In tutte queste ricerche del peso specifico dei corpi interessa sommamente che la temperatura dell'acqua non sia molto diversa da quella di $+4°$, e quella del corpo da quella di o. Impareremo più innanzi a fare queste correzioni, che d'altronde non sono necessarie che in esperienze di una grande precisione.

Per la densità o peso specifico dei liquidi noi abbiam già detto che basterà di avere un recipiente di cui il turacciolo sia ben fatto e chiuda esattamente, e di prendere i pesi dei diversi liquidi dopo avere con ognuno di questi esattamente empiuta la boccia. Vi sono però per conoscere le densità dei liquidi degli strumenti di un uso assai facile e però molto esteso nelle arti. A questi si dà il nome di *areometri*, che consistono generalmente in un tubo di vetro A B (*Fig.* 24) chiuso alle due estremità, e terminato con un rigonfiamento che ha al di sotto una piccola palla M piena di piombo o di mercu-

zio, destinata a rendere stabile l'equilibrio dell'apparecchio allorchè è immerso in un liquido. Il cilindro A B porta una scala graduata nel modo che descriveremo. Allorchè questo istrumento è immerso in un liquido si tien verticale, e pesca tanto più nel liquido quanto più questo è leggiero. Ricordatevi ciò che si è detto di un corpo galleggiante, che cioè tende a scendere con una forza eguale al suo peso, ed è spinto in alto con una forza eguale al peso del volume del liquido che sposta. E poichè il suo peso è costante, il volume del liquido spostato dovrà essere, per l'equilibrio, tanto più grande quanto meno il liquido sarà denso. Il più semplice di questi apparecchi consiste in un tubo perfettamente cilindrico, chiuso alle due estremità, e caricato di pesi in basso perchè si regga verticale in un liquido qualunque. S' immerge questo tubo nell'acqua distillata, e si segna 100 al punto in cui giunge il livello di questo liquido. Si divide la lunghezza immersa in 100 parti eguali, e questa divisione si prolunga anche al disopra. Un tale istrumento non solo ci serve a riconoscere un cambiamento qualunque nella densità dell'acqua, ma può anche darci il valore di questo cambiamento, cioè la densità del liquido in cui è immerso. Si supponga d'immergerlo in un liquido nel quale giunga a pescare sino al 125°; ne risulta evidentemente che un volume d'acqua eguale a 100 pesa come un volume del l'altro liquido eguale a 125, poichè nei due casi questo peso è eguale a quello dell'istrumento. E siccome a pesi eguali, le densità sono in ragione inversa dei volumi si avrà la densità del liquido dalla proporzione.

$$125:100 :: 1:X = {}^{100}/_{125} = 0,80$$

In luogo di quest' istrumento, molto incomodo per la grande lunghezza che converrebbe dare al tubo ondo servisse per liquidi di una densità molto varia si adoperano in commercio strumenti graduati sopra altri principi. Il più comune di questi è quello tanto conosciuto di Beaumé. La sua costruzione è all'incirca quella della *Fig.* 24. La graduazione si fa immergendo l' istrumento nell'acqua pura, segnando zero nel punto in cui si ferma, e poi immergendolo in un altro liquido fatto sciogliendo 15 parti di sal marino ben asciutto in 85 parti d'acqua. L' istrumento s' immerge meno in questo liquido più denso dell' acqua; Beaumè divide lo spazio compreso fra i due punti d' immersione in 15 parti eguali, e prolunga la scala al disotto, in modo che quanto più il liquido è denso, tanto è maggiore il numero dei gradi di cui s' immerge. Pei liquidi più leggieri dell' acqua la graduazione di Beaumè si fa con un altro liquido, che è fatto con 10 parti di sale sciolto in 90 d'acqua. È evidente il difetto di questo istrumento avendo una scala diversa pei diversi liquidi, e non potendo dai gradi passarsi alle densità.

Egli è anche utile nelle arti e nel commercio, di avere degli areometri particolari che diano direttamente la proporzione dei miscugli che compongono certi liquidi. Così nella fabbricazione dei sali importa di avere strumenti che indichino la quantità d'acqua e di sale che si trovano nel liquido in sul s' immerge l'istrumento: nel commercio dell' acquavite preme di conoscere immediatamente la quantità d'acqua e d'alcool che vi si contengono. M. Gay-Lussac ha costruito un istrumento di questo genere, che ha chiamato *alcoolometro*. È un tubo come quelli descritti, che s'immerge nell' alcool assolutamente puro, segnando 100 al punto in cui si ferma. Si fanno in seguito dei liquidi con acqua ed alcool puro contenenti 9/10, 8/10 7/10 del loro volume di alcool, e le graduazioni si fanno segnando 90, 80, 70, ec. nei punti in cui si ferma nei suddetti miscugli. Chiamato 100 il grado di purezza di questo liquido, il grado della sua purezza sarà 9/10 in un liquido che segni 90, o, in altri termini, quel liquido sarà composto di 90 parti in volume di alcool e 10 d'acqua.

LEZIONE XVII.

Scolo dei liquidi.—Contrazione della vena.—Costituzione della vena secondo le osservazioni di Savart. Teorema di Torricelli e sue conseguenze.—Tubi addizionali.

Ora che abbiamo esposto le leggi di equilibrio dei liquidi, ed insegnato a determinare le pressioni che essi esercitano contro le pareti dei recipienti, dobbiamo complere lo studio dell'azione della gravità sui liquidi parlando del loro flusso o scolo. Sa ognuno che tolta una porzione qualunque di parete nel fondo o lateralmente ad un vaso che contenga liquido, si vede escire con più o meno velocità. Per ora ci limiteremo a considerare questi fenomeni indipendentemente dalla pressione dell' atmosfera in cui si operano; vedremo in breve qual parte può avervi questa pressione. Se noi supponiamo il foro fatto nel fondo del vaso, ci sarà facile di osservare che le molecole liquide

scendono verticalmente sino ad una certa distanza dal foro, e al di là di questa le più vicine prendendo maggiore velocità, ai forma una specie d'imbuto di cui la punta corrisponde al centro dell' orifizio. Quando il foro fosse stato nella parete laterale, allora il liquido presso l' orifizio vedrebbe deprimersi. Possono facilmente osservarsi questi cambiamenti nella superficie del liquido durante il suo scolo, spargendo nell' acqua piccioli corpicciuoli di cui la densità poco differisca da quella di questo liquido, come segatura di legno o polvere di cera di Spagna. Questi diversi movimenti dipendono dall'altezza del liquido nel vaso, e dalla forma e dimensioni dell'orifizio. La vena liquida prodotta da questo scolo è stata in questi ultimi tempi assai bene studiata dal Savart, e noi daremo qui i risultati i più importanti di queste ricerche. Si era osservato da lungo tempo che la sezione della vena diminuiva rapidamente a poca distanza dall' orifizio, poi si allargava di nuovo crescendo sempre sino alla parte che è torbida, e composta di gocce scontinue e divise. Questa contrazione della vena liquida è diversa secondo il diametro dell'orifizio, e l'altezza del liquido che scola. Negli orifizi che hanno dieci millimetri e più di diametro, la contrazione non è mai meno di $^{37}/_{100}$ a $^{40}/_{100}$ della sezione del foro. Si calcola in generale la sezione della vena nel suo punto di maggior contrazione, ciò che è sempre assai presso dell' orifizio, eguale a circa 2[3 della sezione dell'orifizio stesso. Le ricerche di M. Savart hanno mostrato che non v' era questo massimo di contrazione che nelle vene dirette dal basso all'alto, e che in tutti gli altri casi la sezione della vena diminuiva costantemente sinchè giungeva ad intorbidarsi: accadeva in tutti i casi che la contrazione assai rapida presso il foro si rendeva piccolissima ad una distanza da questo eguale in circa al suo diametro. Componesi la vena di due parti, l'una prossima all'orifizio, trasparente e simile ad una verga di cristallo, l'altra più lontana, agitata, non limpida, e composta di una serie di rigonfiamenti bislunghi. In questa seconda parte della vena il liquido non è continuo, e Savart se ne è assicurato osservandola con un liquido opaco come il mercurio, attraverso del quale si poteva vedere. Esamineremo in seguito come possa spiegarsi l'apparente continuità di questa parte torbida della vena, e troveremo che le parti che la compongono si succedono ad intervalli di tempo più brevi della durata della sensazione. La parte torbida si compone (*Fig.* 41 e 42) di larghe gocce schiacciate orizzontalmente, fra le quali se ne trovano che sono sottili ed allungate nel senso verticale; e poichè queste gocce che si presentano nelle due forme descritte occupano posizioni fisse, conviene ammettere che la stessa goccia si trovi nelle successive posizioni ora schiacciata ora allungata. Savart ha trovato come avvenga la produzione di queste gocce. Presso l' orifizio e sulla parte limpida della vena, si propagano dei rigonfiamenti anulari che aumentano di volume lungo la vena limpida, e giunti all' estremità se ne distaccano ad eguali intervalli. A produrre questi rigonfiamenti avviene all' orifizio una successione periodica di pulsazioni che rendono periodicamente variabile la velocità dello scolo. Queste pulsazioni sono tanto rapide e regolari, da produrre un suono ben distinto: noi vedremo più innanzi che in questo modo può infatti esservi produzione di suono. E non è meno curiosa ed importante l'osservazione fatta da Savart della modificazione che si opera nella parte torbida di una vena, pel suono di un istrumento, prodotto anche a molta distanza. Immediatamente si vede la parte limpida della vena ridursi quasi a niente; e senza che s' alteri la quantità di liquido che esce in un dato tempo, tutta la vena diviene torbida, e più regolari di forma e trasparenti si fanno le gocce piatte e le altre allungate nel senso verticale. Tutti questi risultati non variano per la presenza o no dell' aria, e s' applicano ai getti lanciati orizzontalmente o obliquamente di basso in alto, purchè l' inclinazione non oltrepassi 45°, a questo limite la vena comincia ad avere un massimo di contrazione tanto maggiore, quanto più il getto è poco diverso dal verticale, e varia nello stesso modo il numero delle pulsazioni all' orifizio.

Possiam renderci conto abbastanza chiaramente della contrazione che prova la vena presso dell' orifizio e che sussiste qualunque sia la direzione del getto, ammettendo che all'orifizio stesso la velocità delle molecole sia varia, cioè maggiore per quelle del centro e minore per quelle della circonferenza, venendo ivi diminuita dall' attrito contro le pareti del foro. Correndo più velocemente le molecole centrali, dovrà la vena diminuire di diametro; diverrà in seguito costante la sua sezione ad una certa distanza dal foro, perchè sono cessate le cause della disuguaglianza di velocità. Quelle direzioni variabili con cui si portano all'orifizio i filetti liquidi, e che già vi ho fatto notare, devon molto influire sulla contrazion della vena. E mi par facile ad intendersi che la gravità accelerando il movimento allorchè il getto ha luogo d' alto in basso, debba produrre una continua diminuzione

nella sezion della vena, ed il contrario debba avvenire allorchè il getto si dirige di basso in alto.

Ora che noi conosciamo bene la costituzione della vena, dobbiam cercare di risolvere le altre quistioni che riguardano lo scolo dei liquidi. Con qual velocità si fa questo scolo? come può determinarsi in ogni caso la quantità di liquido che esce da un dato foro? Allorchè un liquido scola da un orifizio qualunque, la velocità che è nulla al principio, s'accresce per un certo tempo assai breve; e se il livello del liquido si conserva sempre alla stessa altezza, questa velocità divien costante, e il volume del liquido che esce dal foro in ogni secondo di tempo è sempre lo stesso.

Noi possediamo diversi apparecchi costruiti per conservare costante il livello del liquido in un recipiente. Il più comunemente adoprato consiste in una cassa, o vaso qualunque che ha il foro d'efflusso nel fondo, e un altro foro presso il suo lembo superiore. In questo recipiente scola di continuo una quantità d'acqua maggiore di quella che esce dal foro inferiore cadendo sopra una specie di graticola destinata ad impedire ogni urto, ogni agitazione che potrebbe portare nella sua caduta alla massa liquida: scola l'eccesso dell'acqua dal foro superiore. V'è pure un altro apparecchio detto *il galleggiante di Prony*, che consiste in un vaso da cui si fa lo scolo, e di due casse, una delle quali galleggia sul liquido che scola, e l'altra unita con verghe di ferro alla cassa galleggiante, è posta al disotto del vaso di scolo e riceve tutto il liquido che ne esce. Per una tale disposizione vedesi facilmente che il peso che agisce sul galleggiante aumenta esattamente del peso dell'acqua scolata, e deve perciò pescar maggiormente. Sposterà esso ad ogni nuova e crescente immersione una quantità di liquido eguale a quella che è scolata, e rimarrà così costante l'altezza del liquido nel vaso. V'è pure un apparecchio detto *vaso di Mariotta*, e che serve allo stesso oggetto: avremo occasione di descriverlo più innanzi. Con questi diversi istrumenti si è potuto determinare la velocità costante che ha il liquido che scola dall'orifizio di un vaso qualunque.

Dobbiamo a Torricelli un teorema che comprende tutte le leggi dello scolo dei liquidi, e che l'esperienza ha generalmente confermato in tutte le sue conseguenze. Il teorema di Torricelli può esprimersi nel modo seguente: *le molecole sortendo dall'orifizio di un vaso hanno la stessa velocità, che avrebbero acquistato cadendo liberamente nel vuoto da un' altezza eguale alla distanza che v'è fra la superficie di livello e il centro dell' orifizio.* Per verificare questo teorema coll'esperienza bastava di misurare il volume del liquido escito in un dato tempo da un vaso che si manteneva costantemente pieno alla stessa altezza. È chiaro che la *portata* o quantità di liquido escita in un dato tempo, può esprimersi col volume di una colonna liquida di una certa lunghezza, e di cui la base è la sezione dell'orifizio. Supponete che si determini in metri cubi la quantità d'acqua che scola dall'orifizio di una data sezione fatta in un vaso in cui il liquido si conservi sempre allo stesso livello. Vi sarà facile di trovare qual'è il volume scolato in un secondo di tempo, e di trasformare questo volume in un cilindro che abbia per base la sezione dell'orifizio. La lunghezza di questo cilindro sarà necessariamente lo spazio in metri che è percorso dalle molecole che escono dall'orifizio in un secondo di tempo, o, ciò che torna lo stesso, sarà la velocità di cui sono animate. Può esprimersi questa portata con $Q = v s$, in cui v è la lunghezza incognita del cilindro d'acqua escito, e che si determina coll'esperienza, ed s la sezione nota dell'orifizio. Determinato Q per un secondo di tempo, si avrà il valore di v, cioè l'effettiva velocità delle molecole all'orifizio. Onde verificare con l'esperienza il teorema di Torricelli, convien toglier di mezzo tutte le circostanze secondarie che possono alterare i risultati: a questo fine l'orifizio si pratica in una parete piana e più sottile che sia possibile, onde diminuire l'attrito. La velocità pel teorema di Torricelli si esprime con $v = \sqrt{2 g s}$, in cui s è la distanza fra la superficie di livello e il centro dell'orifizio. Tutto è dunque noto, una volta determinata quest'altezza; e basterà, per verificare la teoria coll'esperienza, di mettere nella formola della portata $Q = v s$ il valore di v dato dal teorema di Torricelli; si dovrebbero avere gli stessi valori. Molte osservazioni di confronto hanno mostrato, che la velocità effettiva dedotta dalla portata non corrispondeva a quella data dal teorema di Torricelli. Questa velocità effettiva è stata trovata eguale a circa due terzi di quella data dalla teoria. Noi però già conosciamo la cagione di questa differenza fra le due velocità dateci, la prima dalla teoria e l'altra dall'osservazione, e facilmente potremo conciliarne i risultati. Per avere la velocità misuriamo la portata o quantità di liquido escita in un secondo di tempo, e riteniamo per sezione della vena quella dell'orifizio. Ma chi non vede che se la sezione dell'orifizio o della vena si facesse minore, si do-

vrebbe avere una quantità minore di liquido? È appunto questo il risultato dell'esperienza; è la quantità o portata che diminuisce, riducendosi a circa due terzi di quella che s'avrebbe colla velocità data dal teorema di Torricelli, e supposta la sezione dell'orifizio costante. Noi invece abbiam visto che la vena si contraeva, e che la sua sezione era minore di quella dell'orifizio, in quello stesso rapporto lo cui si è trovato la portata effettiva minore di quella dedotta dalla teoria. Se in luogo di considerare la velocità delle molecole fluide nell'orifizio, si considera nella sezione della vena che si trova ad una piccolissima distanza, e in quel punto in cui la maggior contrazione si è operata, s'intenderà facilmente che la velocità vi sarà di tanto maggiore di quanto è minore la sezione, o, in altri termini, passando la stessa quantità di liquido e nello stesso tempo, per la sezione del foro e per la sezione contratta, le velocità devono essere in ragione inversa delle sezioni. Per quella sezione qualunque che si considera, la velocità teoretica corrisponderà sempre con quella data dall'esperienza.

Noi possiamo ora verificare col fatto tutte le conseguenze del teorema di Torricelli. Se la velocità delle molecole al foro è quella stessa che avrebbero acquistata cadendo liberamente nel vuoto dalla superficie di livello, ne verrà:

1.° Che qualunque sia la densità del liquido che scola, purchè abbia una stessa altezza, la velocità sarà eguale in ogni caso, e indipendente da questa densità. Fate escir del mercurio, dell'acqua, dell'alcool, da recipienti in cui il liquido sia tenuto alla stessa altezza; la velocità che animerà le molecole che escono sarà in tutti i casi la stessa: non però la pressione, la quale varierà sempre colla densità del liquido che scola.

2.° Le velocità con cui scola un liquido a diverse altezze, stanno fra loro come le radici quadrate di queste altezze o profondità degli orifizi al disotto della superficie di livello. Le velocità dei gravi sono appunto tra loro come le radici quadre dell'altezze da cui son caduti. Voi vedete qui due vasi che hanno nel centro del loro fondo lo stesso foro, e in ognuno dei quali l'acqua è mantenuta ad un'altezza costante. Uno di questi è alto 4 volte più dell'altro. Raccolgo l'acqua che esce nell'istesso tempo da ambidue, e vedete che da quello di cui l'altezza è quadrupla dell'altro è escito un volume doppio di liquido; la velocità è dunque doppia, e quindi in ragione della radice quadrata dell'altezza della superficie di livello sul foro. Anche in questo caso però la pressione non va confusa colla velocità: è nel primo caso quadrupla dell'altra.

3.° Se il getto liquido s'innalzerà verticalmente, salirà ad un'altezza presso a poco eguale a quella del livello che ha il liquido nel recipiente da cui esce. Ricordatevi che un corpo cadendo acquista tanta velocità da risalire al punto da cui è partito. Osservate (*Fig.* 27.) un recipiente A che comunica alla base con un tubo orizzontale munito di due tubi B e C, e di un foro D. Un *robinet* M separa il recipiente A dal resto del tubo. All'istante in cui girando il *robinet* apro la comunicazione, vedete l'acqua salire nei tubi B e C alla stessa altezza che in A, ed anche il getto giungere all'incirca alla stessa altezza. Ho detto all'incirca perchè varie cause impediscono alle acque salienti di giungere all'altezza voluta dalla teoria. Vi sono gli attriti contro le pareti dei tubi, e contro gli orli dell'orifizio, v'è la resistenza dell'aria, v'è l'urto delle gocce d'acqua che ricadono sul getto che sale. Per ridurre queste resistenze al minor valore possibile si fa l'orifizio in una parete sottilissima, e si ha la pratica di dare a questa parete la forma di una callotta convessa, in cui si distribuiscono più fori. Si hanno così dei getti che nelle aperture laterali hanno sotto diversa inclinazione una diversa curvatura parabolica.

Con questo principio delle acque salienti si dà spiegazione delle sorgenti artesiane. Immaginate un recipiente naturale di acqua nell'interno di una montagna, e supponete ancora che per una disposizione naturale e in alcuni luoghi molto frequente, questa raccolta d'acqua scenda entro terra distendendosi orizzontalmente, ritenuta fra strati di materia impermeabile all'acqua. Fate un foro verticale che giunga sino a questa specie di tubo orizzontale, che abbiam supposto; *salassate la terra*, come diceva un antico Fisico di Modena, e l'acqua salirà per quel foro artificiale che avrete fatto sino all'altezza del recipiente con cui comunica, e perciò molte volte assai al disopra della superficie del terreno forato.

Non ho più che una parola a dirvi dei *tubi addizionali* e della loro influenza sopra lo scolo. Chiamansi tubi addizionali certe lastre curve diversamente forate, o tubi di varia forma che s'adattano agli orifizi in parete sottile, e da cui si fa escire il liquido. Il più semplice di questi tubi ha la forma della vena dall'orifizio sino alla seziono contratta, e non ha alcuna influenza sulla portata. Con una parete curva munita di un orifizio che abbia una sezione eguale a quella di un foro praticato in una egual parete

piana, si ha una portata più grande se è concava verso l'interno del vaso, e una minore se è voltata colla concavità al di fuori. Pei tubi addizionali cilindrici che hanno lo stesso diametro dell'orifizio avviene un fenomeno ben singolare: se il tubo lascia scolare il liquido come distaccato dalle sue pareti, ciò che avviene sotto delle grandi colonne liquide, non può esservi, e non v'è aumento di portata nè di velocità nello scolo; la vena ha la stessa sezione del tubo, e quindi il tubo non può influirvi. Ma se invece il tubo scorre pieno, come accade sotto delle cariche minori, la vena *aderisce* alle pareti del tubo, e così si aumenta la portata e la velocità dello scolo. V'è in questo caso una specie di aderenza fra il liquido che bagna le pareti interne del tubo, e il liquido dello strato esterno della vena: questa specie d'aderenza determina un'espansione; e se il tubo si fa più largo, la vena s'allarga e così aumenta la portata. È questa stessa la cagione dell'aumento di portata del tubo doppiamente conico che ha la forma della vena, nel caso che è diretta dal basso all'alto. Se a questi tubi addizionali darete delle irregolarità anche piccole e tali che obblighino le molecole a maggiori attriti, ad urti fra loro, la portata sarà di molto diminuita.

L'influenza delle diverse forme che dar si possono al foro di un vaso recipiente qualunque, fa sì che l'unità di misura nella distribuzione delle acque, o *pollice d'acqua*, come suol dirsi, sia presa sotto determinate condizioni di scolo. Questo pollice d'acqua è la quantità d'acqua che scola in un minuto da un orifizio circolare di un pollice di diametro fatto in una parete verticale e con un carico d'acqua di 7. linee sul centro dell'orifizio. Il volume d'acqua che scola da questo foro è di 19, 2 metri cubi in 24 ore. Sopra questa unità si stabiliscono i prezzi dei diversi volumi di acqua che si derivano da un canale.

Savart ha pure fatto ricerche importantissime sull'urto delle vene liquide contro gli ostacoli fissi, e sugli urti delle vene fra loro; delle quali ricerche vi dirò sommariamente i principali risultamenti. Nel primo incontro di una vena contro la superficie di un corpo, la pressione è grandissima se la superficie è piana, la vena la segue senza distaccarsene. Così sopra una sfera, la vena la involge e fugge riunita dalla parte opposta. Cadendo sopra un cilindro normalmente si divide la vena, si riuniscono i due getti dall'altra parte, e riuniti formano ciò che Savart chiama un *nappo* comune. La pressione della vena tanto forte nel primo incontro contro la superficie solida, si diminuisce di molto dopo un istante; e appena i filetti si sono ripiegati, e non fanno che scorrere, appoggiati a questa superficie, non esercitano più altra pressione che quella dovuta alla loro forza centrifuga. Voi concepite facilmente che applicando questa superficie che può essere di forme ben diverse al braccio di una bilancia, si può, con pesi posti sull'altro piatto, far equilibrio a questa pressione e così valutarla. Savart ha trovato che la maggior pressione si esercita contro il concavo di una mezza sfera. Allorchè si riceve la vena diretta di alto in basso contro una superficie circolare di 2 o 3 centimetri di diametro, si forma intorno al disco un nappo circolare (*Fig.* 43, 44) composto di un nappo circolare trasparente, sottile, unito, terminato da una zona anulare frammista di filetti che irraggiano dal centro, e di altri circolari dai quali si scaglia una infinità di gocce. — Anche in questo caso si produce un suono. Allorchè il livello del liquido da cui parte la vena si va abbassando, il nappo presenta le più strane apparenze. Quando il liquido non ha più di 10 o 12 centimetri di altezza, il nappo s'innalza come distaccandosi dal disco, poi un istante dopo ricade, quindi si rialza, e così prosegue sino alla fine. Nè è meno strana l'influenza della temperatura e delle composizioni del liquido sopra questi fenomeni. Il maggior diametro del nappo si fa a $+ 4^\circ$ che è la temperatura della massima densità dell'acqua; a $+ 100^\circ$ che è il calore dell'ebollizione, il nappo non esiste più. Per poco acido qualunque che s'aggiunga al liquido, sparisce affatto la formazione del nappo.

LEZIONI XVIII e XIX.

Fenomeni capillari. — Metodo d'osservazione. — Leggi di questi fenomeni. — Teoria loro. — Applicazioni di questi fenomeni. — Endosmosi.

Le leggi dell'equilibrio dei liquidi di cui abbiamo parlato nelle lezioni precedenti, possono in qualche circostanza particolare non vedersi verificate. V'ho mostrato più volte che immergendo un tubo di vetro in una massa liquida il livello era eguale e dentro e fuori del tubo: v'ho mostrato che per l'azione della gravità, o per la costituzione

dei liquidi non poteva accadere altrimenti. Osservate ora questo tubo pur di vetro, egualmente aperto dalle due parti che immergo in una massa d'acqua: il livello del liquido nell'interno del tubo non è, come nel caso or ora citato, alla stessa altezza che al difuori, ma invece vi si trova innalzato. Questo fenomeno e molti altri di questo genere sono compresi sotto il titolo di *fenomeni capillari*. La quale ultima parola si adopera per esprimere che questi fenomeni si producono tanto meglio nei tubi, quanto più il diametro interno è stretto e poco diverso da quello di un capello.

Cominceremo dall'esporre il metodo adoprato nella osservazione di questi fenomeni, e quindi le leggi che si sono dedotte sperimentalmente; poi ci sforzeremo di esporvi le teorie onde spiegarli, e infine insisteremo sulle applicazioni che posson farsi dei fenomeni capillari a molti che avvengono nei corpi organizzati.

Due sono gli oggetti che si devono risolvere nell'osservazione dei fenomeni capillari, cioè: 1.° determinare esattamente il diametro interno dei tubi; 2.° misurare il sollevamento del liquido nell'interno del tubo sopra il livello esteriore della massa liquida. Abbiamo due processi per misurare il diametro dei tubi. Si comincia dal bene assicurarsi che il tubo è calibrato, cioè ha in tutti i punti lo stesso diametro, facendo muovere nell'interno del tubo un indice di mercurio. Se il tubo è calibrato, l'indice di mercurio avrà in tutti i punti la stessa lunghezza. Fatto ciò, s'empie di mercurio il tubo o una parte di questo, e in ogni caso si determina esattamente la lunghezza della colonna di mercurio. Si pesa prima il tubo col mercurio e di nuovo dopo che il mercurio se n'è estratto, e la differenza sarà il peso del mercurio che occupava l'interno del tubo. Conosciamo la densità del mercurio, la lunghezza della colonna interna, e possiamo quindi con una formola semplice di geometria che dà il volume del cilindro, avere il diametro di un cilindro di cui la lunghezza sarà quella della colonna di mercurio determinata coll'osservazione. Può anche ottenersi questo diametro, servendosi di un istrumento ottico che descriveremo in seguito, che è la *camera lucida* applicata ad un microscopio orizzontale. L'apparecchio di Gay-Lussac per determinare l'altezza del sollevamento nel tubo consiste in un bicchiere molto alto di vetro, di cui il piede è su tre viti per poter rendere orizzontale il suo labbro superiore. Prima d'introdurre il tubo capillare nel liquido contenuto nel bicchiere deve aversi una precauzione assai importante, ed è quella di far passare nel tubo per due o tre volte dell'alcool, onde pulirlo di ogni sostanza oleosa che per caso potesse esservi. Volendo osservarsi l'innalzamento nell'acqua è utile di bagnare il tubo in questo liquido prima di fissarlo e cominciare l'osservazione. V'è un regolo verticale perfettamente diviso in millimetri, e munito di verniero sul quale corre un piccolo cannocchiale con micrometro. Si determina per mezzo di questo cannocchiale il punto del regolo che corrisponde al livello del liquido nel bicchiere, poi l'altro punto corrispondente al livello del liquido nel tubo capillare; la distanza fra questi due punti è l'altezza della colonna sollevata che si cerca.

Ridurremo sotto alcuni titoli generali i risultati dell'osservazione dei fenomeni capillari.

1.° Allorchè un corpo è in parte immerso in un liquido, quest'ultimo s'innalza o si abbassa intorno al primo, e il liquido è terminato nel suo contatto col solido da una superficie concava o convessa, secondo che s'è elevato o depresso. Nel primo caso il solido si dice *bagnato*, e questo caso è quello del vetro e dell'acqua: l'altro caso s'osserva fra vetro e mercurio.

2.° Se s'immergono in un liquido due corpi intorno ai quali s'innalzi o si deprima, accade che il liquido s'innalza o s'abbassa fra loro, allorchè sono tanto ravvicinati, da venire a contatto le due superficie curve che si sono formate nel liquido intorno ad ognuno di loro. La quantità d'innalzamento o abbassamento rispetto alla superficie esterna del liquido è in ragione inversa della distanza dei due corpi.

3.° Immergendo in un liquido un tubo di vetro aperto alle due estremità, il liquido s'innalza o s'abbassa entro questo tubo, e tanto più quanto più è piccolo il suo diametro. Confrontando l'innalzamento o la depressione in un tubo cilindrico, coll'innalzamento o colla depressione che avviene fra due lastre che sono ad una distanza eguale al diametro del tubo, si trova che l'innalzamento o la depressione hanno un valor doppio pel tubo.

4.° La superficie concava del liquido sollevato, e la convessa del liquido depresso, appartengono ad una mezza sfera il cui diametro è eguale a quello del tubo.

5.° Questi fenomeni si osservano allo stesso grado nel vuoto, nell'aria, nell'aria condensata, in un mezzo qualunque.

6.° Questi fenomeni sono anche del tutto indipendenti dalla grossezza del corpo solido su cui avvengono, e per conseguenza dalla grossezza delle pareti del tubo capillare.

7.° Tutti i corpi suscettibili di esser ba-

gnati da un liquido, e che prima di essere immersi sono coperti di uno strato di questo liquido, agiscono così preparati nello stesso modo, e perciò indipendentemente dalla loro natura.

8.° In uno stesso tubo e per uno stesso liquido, l'altezza o depressione della colonna liquida interna diminuiscono in ragione della temperatura del liquido.

9.° Questi innalzamenti, o queste depressioni che costituiscono i fenomeni capillari, sono indipendenti dalla densità dei liquidi: così rappresentando con 100 il sollevamento dell'acqua per un dato tubo, sarà 40 l'innalzamento dell'alcool, 37 quello dell'olio di lavanda, 88 quello di una soluzione satura di sal marino.

Passiamo alla spiegazione di questi fenomeni. Per darvi la teoria dei fenomeni capillari in tutta la sua generalità, dovrei portarvi a considerazioni geometriche troppo sublimi e di certo superiori alle vostre cognizioni. Mi sforzerò adunque di tradurne alla vostra intelligenza i punti fondamentali.

Qual' è la forza che opera nei fenomeni della capillarità? Non si ha, por saperlo, che a riassumere le leggi sperimentali che abbiamo date di questi fenomeni: l'influenza dell'aria è nulla, giacchè nel vuoto, nell'aria molto densa, in un gas qualunque hanno luogo egualmente. Qualunque sia la grossezza della parete del tubo, il liquido si solleva o si deprime di una quantità costante purchè il suo diametro interno sia invariabile, ed è questa in ragione inversa del diametro del tubo. Tutto si riduce dunque all'azione delle molecole liquide fra loro, e all'azione su questo delle molecole del corpo solido. Non può esser questa azione del genere dell'attrazione universale. Sappiamo che questa opera anche a grandi distanze, e non potrebbero perciò i fenomeni della capillarità essere indipendenti dall'influenza degli strati esterni o della grossezza delle pareti del tubo, e in generale del corpo immerso.

Adunque nella sola attrazione molecolare risiede la cagione di questi fenomeni: in quella forza cioè che abbiamo visto agire fra le molecole ultime della materia e a delle distanze inapprezzabili pei nostri sensi. I fenomeni dell'adesione, della capillarità, dell'alzarsi o deprimersi di un liquido intorno ad un corpo solido che vi si immerga, tutti questi, e molti altri ancora, dipendono da una stessa cagione. Nient'altro posso dirvi della natura di questa forza, come di quella di tutte le altre che ammettiamo in natura, se non che è un'attrazione a piccolissime distanze fra molecole della stessa natura e fra molecole di natura diversa, è una forza che ha molta analogia coll'affinità chimica; potrebbe chiamarsi un' affinità chimica che non altera le proprietà dei corpi fra cui si spiega, e che non determina combinazione. In tutti questi fenomeni ciò che v'è di comune si è, che l'azione del solido sul corpo liquido produce la prima azione fra le molecole rispettive che immediatamente si toccano: ma poichè al di là di queste ve ne sono altre che soffrono, benchè in diverso grado, questa azione, e poichè essa non opera che a distanze infinitamente piccole, ne risulta che pel resto l'azione si sveglia fra le molecole liquide. Ciò è tanto vero, che qualunque sia la natura del corpo immerso; se si suppone prima d'immergerlo coperto di uno strato di quel liquido, l'effetto sarà costante e indipendente dalla natura del corpo immerso. Lo dirò più chiaramente: l'azione del vetro sull'acqua agisce sulle molecole di questo liquido che immediatamente lo toccano, e le solleva, e l'azione delle molecole d'acqua sollevate sulle altre produce il successivo sollevamento del rimanente del liquido; e poichè quest'azione non si estende che ad una distanza infinitamente piccola, è evidente che, stretto o largo che sia il tubo, la superficie del liquido incontrerà sempre le sue pareti sotto lo stesso angolo.

Ma noi abbiamo per ora fatto il meno: sino dai tempi di Jurin si sapeva quel che abbiamo detto. Era necessario tutto il genio e il saper geometrico di Clairaut, di Laplace, di Poisson, per aver la teoria della capillarità. Ciò che ci rimane a fare, è conoscere *come* opera l'attrazione molecolare nella produzione di questi fenomeni, e trovare una *teoria* che ci spieghi le leggi sperimentali con cui si operano, e dalla quale debbono discendere immediatamente queste leggi. Dobbiamo a Laplace la teoria della capillarità fondata interamente sulle leggi dell'attrazione molecolare dimostrato dall'esperienza. L'innalzamento o la depressione del liquido in un tubo capillare dipende, in questa teoria, dalla forma della superficie libera della colonna liquida interna.

Laplace ha dimostrato il primo che questa dipendenza poteva essere stabilita direttamente senza considerare l'azione delle pareti sul liquido. Questo innalzamento, o depressione del liquido in un tubo capillare non può difatti mai avvenire conservandosi piana la superficie libera del liquido nel tubo; se s'immagina la colonna liquida interna decomposta in tanti cilindri annulari concentrici, quello di questi anelli che tocca la parete è il solo che prova diretta-

mente l'azione capillare, e seco attira tutti gli altri per l'attrazione del liquido sopra se stesso. La superficie che ne risulta deve perciò esser concava o convessa, secondochè il primo anello toccante il vetro è innalzato o depresso. D'altronde noi vedremo che colla sola scorta dell'esperienza può stabilirsi l'azione della diversa forma della superficie sulla colonna liquida quale è dimostrata dalla teoria. Per seguire la dottrina di Laplace comincieremo ad esaminare quel debba essere per l'attrazione molecolare lo stato delle molecole alla superficie di una massa liquida, estesa quanto si vuole. Sia A B (*Fig.* 37) questa superficie. Da un punto qualunque m di questa superficie preso come centro, descriviamo una sfera di cui il raggio sia quello della sfera d'attività dell'attrazione molecolare: la molecola non sarà attratta che dalla porzione di liquido compresa nella sfera, e questa attrazione sarà necessariamente diretta secondo la normale m n. Facciasi la stessa costruzione per un altro punto m' posto al disotto della superficie A B, e si conduca pel punto m' la superficie g f parallela ad A B, e la superficie c d ugualmente parallela ad A B e alla stessa distanza dal punto m'. È evidente che per questo punto le attrazioni delle porzioni di materia comprese fra g f e c d, e fra g f ed a b si fanno mutuamente equilibrio. Dimodochè la molecola non soffre altra attrazione che quella del liquido che forma il segmento c e d, non essendovi molecole al disopra di a b che facciano equilibrio all'attrazione di questo segmento c e d. Per la molecola m'' situata ad una distanza dalla superficie eguale al raggio della sua sfera d'attrazione è chiaro che è egualmente attratta in tutti i sensi, e perciò in equilibrio: questa conseguenza è tanto più evidente per tutte le molecole che si trovano ad una distanza maggiore dalla superficie. Concluderemo perciò, che esiste una forza d'attrazione normale alla superficie ed esercitata nel senso x y z della gravità per tutte le molecole comprese fra la superficie d'una massa liquida e una superficie interna parallela alla prima, e di cui tutti i punti ne sono distanti per una lunghezza eguale al raggio della sfera d'attività dell'attrazione molecolare. Questa forza che diminuisce rapidamente d'intensità, e tanto da esser nulla alla superficie n c d m'', produce una pressione che si trasmette a tutta la massa, o che acquista il maggior valore an questa superficie n c d m'', dove la forza è ridotta a zero. Chiamiamo A il valor definitivo e costante di questa pressione trasmessa egualmente nell'interno delle massa liquida, e ad ogni profondità. Se immaginiamo un canale liquido che venga ad aprirsi alla superficie, l'equilibrio sussisterà malgrado questa nuova pressione: essendo piane le due superficie che terminano il canale, tutto è uguale dall'una parte e dall'altra. Non passerò oltre, senza farvi notare che non può esservi questa pressione dovuta alle forze molecolari, nè può aumentare nel modo che si è detto partendo dalla superficie, senza far variare le distanze delle molecole e quindi la densità del liquido. L'esperienza però ha dimostrato che questi cambiamenti di densità sono insensibili: Gay-Lussac ha provato che il peso specifico di un liquido misurato sopra delle piccole o delle grandi masse e quindi con estensioni essai varie di superficie, era lo stesso; come era lo stesso per un corpo solido, sia che fosse determinato preso in massa, oppure dopo averlo ridotto in polvere finissima. Possiamo dunque fare astrazione da questi cambiamenti di densità, e riguardare il liquido come incompressibile per l'effetto di questa pressione sviluppata alla superficie dalle attrazioni molecolari: e tanto più lo faremo senza timore, inquantochè Poisson ha mostrato che le conseguenze dedotte da questa ipotesi di semplificazione sono conformi a quello dedotte da un'analisi rigorosa considerando i liquidi come compressibili. È impossibile che lo possa qui condurvi col metodo rigoroso adoprato da questo sommo Geometra e Fisico, di cui deploriamo grandemente la fresca perdita. Vi dirò solo, che in realtà corrispondono a queste modificazioni della forza attrattiva dovute alla diversa forma delle superficie che terminano il liquido, dei cambiamenti di densità; e che quantunque impercettibili in loro stessi, sono però resi sensibilissimi dalle variazioni di pressione, che sono la causa *immediata* dei fenomeni capillari.

Passiamo ora ad esaminare quale è l'influenza della curvatura della superficie sulla pressione che provano le molecole. Consideriamo una massa liquida terminata da una superficie convessa (*Fig.* 38), e cerchiamo quale è l'azione esercitata sulla colonna delle molecole situate nella direzione della normale M N. Tiriamo pel punto M il piano tangente C D; nello spazio compreso fra la superficie curva e il piano tangente, spazio che d'ora innanzi chiameremo *menisco*, si prenda un punto qualunque m, e si cerchi qual è l'effetto della sua attrazione sulla colonna M N. Se si tiri m n parallela al piano C D, è chiaro che tutte le molecole comprese fra M ed n saranno attratte da m di alto in basso; ma prendendo n p = n M, tutte le molecole comprese fra n e p saranno attratte dalla molecola m di basso in alto: e

siccome le molecole egualmente distanti dal punto n sono attratte in senso contrario da forze eguali, le attrazioni esercitate sopra $M p$ devono distruggersi mutuamente. Rimane perciò l'azione della molecola m sopra le molecole poste al disotto del punto p, la quale tende evidentemente a sollevar la colonna. È questa l'azione che appartiene a tutti gli altri punti o molecole componenti il menisco. Nel caso della superficie convessa A M B, potrem riguardarla come composta di una colonna terminata dal piano C D meno il menisco: per cui la pressione esercitata sulla colonna M N si comporrà dell'azione di un corpo terminato da una superficie piana che abbiamo espresso con $+$ A, meno l'azion del menisco che è diretta in senso contrario di quella della superficie piana, e che perciò esprimeremo con $-$ M. Dunque l'azione della superficie convessa, che è quella d'una superficie piana meno quella del menisco, sarà espressa dal valore A$+$M. Supposto invece che sia concava la superficie della massa liquida (*Fig.* 39), potremo sempre considerarla come fatta di una massa terminata da una superficie piana più il menisco A M B D C, per cui la sua azione sulla colonna sarà quella della superficie piana aggiuntavi l'azion del menisco, e avrà quindi per valore A—M. Consideriamo ora nell'interno della massa liquida un canale formato dal prolungamento del tubo capillare, e terminato in un punto qualunque della superficie piana del resto della massa liquida. Perchè sia in equilibrio il liquido di questo canale, se la superficie della colonna nell'interno del tubo capillare A B (*Fig.* 40) è concava, dovrà la colonna liquida sollevarsi in questo tubo al disopra del livello esterno. In n, estremità piana del canale fittizio m p n, la pressione d'alto in basso è A; in m dove la superficie è concava, la pressione egualmente diretta d'alto in basso è A—M; non può esservi equilibrio se la colonna rimane egualmente alta nei due bracci del canale. Sarà perciò il liquido spinto nell'interno del tubo capillare con una forza eguale ad M, e s'innalzerà sin tanto che il peso della colonna sollevata faccia equilibrio a questa forza M. S'immagini invece il liquido terminato nel tubo capillare da una superficie convessa, quale è il caso del mercurio nei tubi di vetro, e si rinnovi la costruzione precedente. La pressione sulla superficie piana sarà sempre A, e sulla superficie convessa sarà A$+$M, perciò il liquido dovrà discender nel tubo sin tanto che il peso della colonna di cui si è depresso, farà equilibrio alla forza M.

Possiamo verificare direttamente l'influenza della curvatura della superficie che termina il liquido in un tubo capillare. Immaginate un tubo capillare ben calibrato e ricurvo (*Fig.* 45), di cui uno dei bracci sia più corto: mettendo un liquido come acqua o altro che bagni il vetro, la superficie concava nelle due braccia sarà alla stessa altezza: versando liquido nel braccio più corto a poco a poco, si giunge a fare sparire la sua concavità sino a renderla convessa. Si osserva intanto che il liquido nell'altro braccio va sempre alzandosi di livello corrispondentemente alle variazioni della superficie; allorchè la superficie è ridotta piana, l'altezza del liquido nell'altro braccio sopra quella del braccio più corto, è eguale a quella che avrebbe luogo se il tubo fosse immerso direttamente in una massa dello stesso liquido: allorchè la superficie a è fatta convessa, questa differenza si trova doppia. Tutto questo risulta immediatamente dalla teoria: nel caso che in a sia piana la superficie, le pressioni sono A — M da una parte ed A dall'altra, di cui la differenza è M; nel secondo la differenza fra le pressioni alle due superficie è 2 M, cioè il doppio di prima, perchè queste pressioni sono A $+$ M da una parte, A — M dall'altra. Possiamo anche verificare quest'influenza della curvatura delle superficie in un altro modo: supponete di avere un tubo ricurvo (*Fig.* 46) fatto da un tubo C D di un gran diametro e da un tubo a b capillare: se si versi del liquido nel tubo largo, sarà, dopo ciò che abbiam detto, la colonna del tubo capillare terminata da una superficie concava, e quindi più alto il suo livello su quello della superficie piana del tubo largo. Si versi adagio adagio del liquido nel tubo C D, s'innalzerà il liquido nel tubo capillare, e a mano a mano che s'avvicinerà all'estremità a, diminuirà la curvatura della sua superficie, si farà piana, e alla fine convessa, e nello stesso tempo varieranno i livelli tanto da sparire ogni differenza quando in a la superficie è piana, e da esservi depressione nel tubo capillare nel momento che diviene convessa.

Laplace ha dimostrato che l'azione del menisco che abbiamo chiamata M sopra lo interno della colonna liquida, si compone di due termini, il primo dei quali è una frazione che ha per numeratore una costante dipendente dall'azione molecolare del solido sul liquido e del liquido sul liquido, e per denominatore il più piccol raggio della curvatura della superficie nel punto di contatto colla superficie piana; il secondo ha lo stesso numeratore, e per denominatore il raggio più grande della curvatura della superficie nello stesso punto. Deducesi da questa espressione del menisco, che in un tu-

bo capillare cilindrico a a base circolare, l'altezza o la depressione che ne dipendono sono in ragione inversa di questi raggi di curvatura, i quali sono eguali nel caso che consideriamo; o poichè l'esperienza ha provato che la superficie concava è una mezza sfera di cui il raggio è il mezzo diametro del tubo, ne viene da ciò la legge dimostrata coll'esperienza, che le elevazioni o depressioni nei tubi sono in ragione inversa dei loro diametri. Se non che determinando coll'esperienza il punto più basso della superficie concava o il più alto della superficie convessa, dovremo correggere le elevazioni o depressioni trovate, del peso del liquido contenuto nel menisco. Quanto più i tubi sono capillari, questa influenza del peso del menisco diminuisce, decrescendo rapidamente col diminuire del diametro. Le esperienze di Gay-Lussac hanno pienamente confermato i risultati della teoria di Laplace. Da questi stessi principi derivano tutte le altre leggi trovate dall'esperienza, e che si verificano nel caso che il liquido s'innalzi o si deprima fra due lastre di vetro, o in un tubo prismatico ec.

Ci sarà facile ora di stabilire qual'è la condizione d'equilibrio d'una colonna liquida in un tubo capillare aperto alle due estremità e tenuto verticale. Se il liquido sarà acqua e il tubo di vetro, sarà (*Fig.47*) concava la superficie interna e convessa l'esterna, per cui la forza verticale diretta dall'alto al basso sarà eguale ad A — M, e la forza contraria diretta dal basso all'alto sarà A + M. Il liquido soffrirà così in direzione contraria alla gravità la forza 2 M, e il peso della colonna liquida sostenuta per la capillarità farà equilibrio a questa forza; ciò che vorrà dire, ammettendo che il liquido non esca dal tubo e non ne bagni le pareti esterne, che la lunghezza della colonna sostenuta sarà doppia di quella che si avrebbe immergendo il tubo nel liquido. Se poi il liquido non bagna le pareti del tubo come nel caso del mercurio, le due superficie essendo convesse e perciò le pressioni eguali d'intensità, si distruggeranno perchè dirette in senso contrario, e non vi sarà in questo caso porzione di liquido che possa essere sostenuta. Con questi stessi principi possono spiegarsi i movimenti che avvengono in una goccia liquida contenuta in un tubo conico, o fra due lastre inclinate. Nella *Fig.* 28 si vede ciò che accade in un tubo conico ad una goccia liquida che bagna il tubo, le due superficie concave hanno una diversa curvatura, il raggio di curvatura è più piccolo al punto m che al punto m'; la pressione sopra m' è perciò più grande che sopra m, e la goccia si muove avvicinandosi verso la cima del cono, o il punto d'unione delle due lastre. Accadrà l'opposto, se la goccia sarà di mercurio. È pur facile a comprendersi perchè un liquido non possa mai per capillarità sgorgare fuori del tubo in cui è sollevato. Basterà di riflettere che è sempre per una superficie concava che sarà terminato. Se qualche volta vi verrà fatto di vedere sgorgare a goccia a goccia il liquido da uno stoppino di cotone o d'altro immerso da una parte in un liquido in cui sia inzuppato, osserverete sempre che lo stoppino sarà più lungo dalla parte da cui goccia, che dalla parte che pesca. È per un'altra cagione, che fra non molto vedremo, che il liquido scola: la capillarità non fa che sollevare il liquido sino all'estremità del tubo. Basterà che teniate orizzontale il braccio dello stoppino per cui scola, perchè questo fenomeno cessi.

V'è ancora una conseguenza della teoria di Laplace, di cui devo dirvi una parola. Sospendete due lastre di vetro nell'acqua, e avvicinatele; appena il liquido comincia ad innalzarsi fra loro, si corrono intorno e muovonsi come se fossero attratte. Lo stesso sarebbe accaduto immergendolo nel mercurio; anche in questo liquido si sarebbero mosse l'una contro l'altra appena fossero state abbastanza vicine da obbligare il liquido a deprimersi fra loro. Se invece le due lastre fossero state scelte in modo che immerse nello stesso liquido intorno ad una s'alzasse, intorno all'altra si deprimesse, le due lastre avvicinate si sarebbero allontanate l'una dall'altra, come venendo respinte; e ciò avviene appunto nel caso d'una lastra di vetro e di una pure di vetro, ma affumicata o unta. Veggonsi assai bene questi fenomeni sopra palle vuote di vetro assai leggiere, e che si mettono a galleggiare sull'acqua dopo averne alcuno affumicate o unte. Questi fenomeni ci conducono ancora a spiegare perchè tutti quei corpicciuoli che galleggian sull'acqua, si raccolgono alla fine agli orli del vaso, se sono tali da esser bagnati dall'acqua, e invece se ne vanno lontani raccogliendosi verso il centro, se non sono in questo caso. Per intendere tutti questi fenomeni, concepite di nuovo nell'interno della colonna sollevata un piccol canale che si ripieghi orizzontalmente, e termini contro la lastra immersa: un altro canale parta dalla superficie piana della massa liquida, e si ripieghi contro la parte esterna della lastra o incontri l'altro canale. Calcoliamo le pressioni esercitate a queste due estremità del canale contro la lastra. Da una parte v'è la pressione della superficie concava che è A — M, e più il peso della colonna sollevata sino all'estremità inferiore del canale che

si considera; dall'altra la pressione A della superficie piana, e più il peso della colonna presa dalla superficie di livello sino all'estremità del canale supposto. Sottraendo questa seconda dalla prima, avremo per la pressione diretta dal di fuori al di dentro della lastra la loro differenza, che sarà l'azione del menisco diminuita del peso della colonna sollevata sulla superficie esterna del liquido. Queste due azioni si compensano esattamente considerando un punto nella colonna che è all'altezza del livello esterno del liquido: ma a mano a mano che si sale, e si considerano nell'interno del canale sollevato de' punti più vicini alla superficie, è chiaro che l'equilibrio non avrà più luogo. L'azione del menisco è costante, mentre il peso della colonna sollevata è tanto minore quanto più si parte da punti vicini alla superficie di questa colonna. Colla differenza di queste due forze sono spinte le lastre dal di fuori al di dentro ad avvicinarsi. Il ragionamento non è meno semplice nel caso in cui il liquido si deprime fra le due lastre. Nel primo caso tutti i punti della superficie interna d'una lastra che non sono esternamente bagnati dal liquido, sono spinti dal di fuori al di dentro con una forza tanto più grande quanto più i punti sono presi in alto e prossimi alla superficie della colonna sollevata. In questo secondo caso tutti i punti toccati dal liquido esterno e che non lo sono dall'interno, provano dal liquido circostante una pressione dal di fuori al di dentro che niente distrugge, e che perciò porta le due lastre una contro l'altra. Nel caso poi in cui una delle lastre è scelta in modo da esser bagnata e quindi da aver il liquido sollevato e l'altra invece non è bagnata avendo perciò il liquido depresso intorno a sè, si vede chiaramente che la superficie interna della colonna avrà un punto d'inflessione, e che l'elevazione e la depressione del liquido fra le due lamine sarà più piccola dell'elevazione e depressione che esiste al di fuori: difatti il liquido depresso tende a diminuire la curvatura di quello che s'è innalzato, e reciprocamente. Ragionando nel modo fatto nei casi precedenti, si troverà che tutti i punti della lastra che sono bagnati dal liquido e fuori e dentro, soffrono pressioni che si fanno equilibrio, mentre che per tutti gli altri sono le pressioni dirette dal di dentro al di fuori, le quali allontanano le lastre come se si respingessero l'una dall'altra.

Poichè noi abbiamo fondata tutta la teoria della capillarità sulla forma concava o convessa che prende un liquido intorno al corpo che vi è immerso o nell'interno del tubo capillare, ci rimane a cercare qual relazione debba passare fra le forze molecolari che sono la causa di questi fenomeni, perchè un corpo possa o no essere bagnato da un liquido, o, ciò che torna lo stesso, perchè un liquido possa sollevarsi o deprimersi facendo concava o convessa la sua superficie a contatto col corpo. Immaginiamo un corpo solido (*Fig.* 30, *c* D D' *c'* immerso in un liquido, ed esaminiamo le azioni esercitate sulla molecola liquida A dal corpo solido e dallo stesso liquido. L'azione del liquido compreso fra i piani A B e A D, agirà secondo la linea A X che divide per metà l'angolo B A D; per la stessa ragione le azioni del solido nei piani M A ed A *c*, M A e A D, saranno egualmente dirette secondo le rette A Y e A Z, che dividono a metà gli angoli M A *c*, e M A D. È la risultante di queste tre forze che agirà sulla molecola A, ed è la direzione di questa risultante che determina la forma della superficie liquida al punto A', dovendo essa esser sempre normale a questa risultante. Sarà piana la superficie se la risultante è diretta secondo A D, sarà convessa se diretta nell'angolo B A D, sarà concava se diretta nell'angolo M A D. Per riconoscere in quali circostanze prende la risultante queste diverse direzioni, rappresentiamoci con P l'azione del liquido secondo A X e per Q l'azione del corpo solido secondo A Y ed A Z; decomponiamo ciascuna delle forze Y e Z in due altre, l'una orizzontale, l'altra verticale. Le due componenti verticali si distruggeranno, e le due componenti orizzontali aggiungendosi saranno rappresentate dalla loro somma $2\,Q\,a$. Esprimo con a il $\cos 45^\circ$, cioè il coseno della metà dell'angolo retto fatto dalla risultante colla componente. E questa è l'espressione delle componenti per la risultante che si dà in Meccanica. Pel nostro scopo è inutile che sappiste come si ha questa espressione. Decomponendo nello stesso modo la forza X, la sua componente orizzontale sarà P a, e P a la sua verticale; la componente orizzontale sarà diretta in senso contrario dell'altra $2Qa$, per cui la componente orizzontale sarà in totalità espressa da $a\,(2\,Q - P)$, e agirà secondo A M. La componente verticale diretta secondo A D sarà a P. Egli è ora assai facile di trovare le relazioni che devono esistere fra P e Q perchè la superficie al punto A sia piana, concava o convessa. Nel primo caso la risultante delle due forze $a\,(2\,Q - P)$ e a P dovendo essere diretta secondo A D, bisognerà che la componente orizzontale sia eguale a zero, cioè che sia $2\,Q - P = o$, e quindi $Q = \frac{P}{2}$, ciò che equivale a dire, che l'attrazione del solido sopra il liquido dovrà essere eguale alla metà

dell' attrazione del liquido sopra se stessa. Perchè la superficie divenga convessa, la risultante dovrà esser diretta nell'angolo DAB, e quindi la componente orizzontale dovrà esserlo secondo A B, e perciò negativa; bisognerà perciòche 2 Q sia minore di P, cioè che l' attrazione del solido sopra il liquido sia minore della metà dell'attrazione fra liquido e liquido. Finalmente la superficie sarà concava quando, la risultante passando per l'angolo M A D, la componente orizzontale sarà diretta secondo M A; cioè quando sarà 2 Q maggiore di P, nel qual caso vorrà dire che l' attrazione del solido sopra il liquido supererà la metà dell'attrazione del liquido per se stesso.

Ho creduto utile di molto trattenervi sulla teoria e sulle leggi della capillarità, perchè molti fenomeni dei corpi organizzati possono intendersi con questi principi. Prima però di passare ad esporvi queste applicazioni debbo dirvi come il principio d'Archimede dell'equilibrio dei corpi galleggianti ed immersi, sia in alcuni casi modificato dai fenomeni capillari. E di fatti secondochè un corpo, che galleggia sopra un liquido ne è bagnato o no, il liquido vi si solleva attorno o vi si deprime; è chiaro che nel primo caso il peso del corpo sarà accresciuto dal peso dell'acqua sollevata e che bagna il corpo al disopra del livello del liquido. Non sarà più in equilibrio senza immergersi maggiormente nella massa liquida. Se invece il liquido si deprime, la spinta contro il galleggiante non sarà solo dovuta al peso del liquido spostato dal corpo, ma più ancora al peso di quella porzione del liquido, che per capillarità è allontanato dal corpo. In questo caso il corpo escirà fuori del liquido più che non sarebbe escito se non fosse per capillarità accaduta la depressione. Questi principi giovano ad intendere come un corpo che ha sette, o otto volte maggior densità dell' acqua, possa rimaner galleggiante su questo liquido; e di fatti se con un poco di destrezza si posa un ago d' acciaio, d'argento ed anche d'oro, benchè tanto pesante, sull'acqua, si riesce a farlo star galleggiante. Osservate ciò che accade intorno all'ago; la superficie del liquido vi si deprime intorno, e ciò forse perchè leggermente coperto di sostanza grassa, o per la presenza di uno strato d'aria che vi aderisce tenacemente. In ogni caso per questo deprimersi dell'acqua intorno all'ago, esso diventa più leggiero di tutto il peso dell' acqua che sarebbe contenuta nello spazio depresso che gli sta attorno. La natura, spargendo di una specie di sostanza grassa le estremità di certi animaletti che nuotano o scorrono sull'acqua, ha impedito che vengano sommersi, come accadrebbe se queste estremità si lasciassero bagnare; la causa di questo fenomeno è sempre un' azion capillare.

Hales ha con alcune esperienze provato, che le azioni capillari intervengono nel sollevamento dei sughi nei vegetabili. È un'esperienza assai facile a farsi quella di tagliare il tronco di una pianta, legarlo ad un tubo di vetro ricoprendo la unione con molti doppi di vescica umida fortemente stretta sul tubo e sul ramo. Ciò fatto, si volta in alto il tubo di vetro aggiunto, s'empie d'acqua, e così pieno si rovescia portandolo a pescare sotto il mercurio. Poco dopo vedesi la colonna del mercurio salire, e rimanere per del tempo sospesa nel tubo. Hales parla in una sua esperienza fatta sopra un ramo di melo, di un sollevamento di 12 pollici nella colonna di mercurio avvanuto in tre ore di tempo, e sotto la sferza del sole caldissimo di luglio. Lo stesso autore ha osservato che tolte le foglie, assai si diminuiva questa forza, che egli chiama *di aspirazione*. Ciò che merita di esser notato, è, che l'esperienza riesce egualmente disponendo il tronco d'albero in modo che guardi in alto la parte del ramo più prossima alle radici, e sia invece riunita al tubo la parte del tronco rivolta verso le foglie. Per mostrarvi qual parte può avere la capillarità in questi fenomeni, ho preparato un tubo di vetro nel quale è stata ben compressa della cenere; si aggiunge a questo tubo un altro più stretto che s' empie d'acqua e si fa pescare nel mercurio, come nell'esperienza di Hales che vi ho descritta. Anche in questo vedete la colonna di mercurio sollevata in poco tempo parecchie linee al di sopra del livello esteriore.

Sopra tali fatti si fonda una delle più importanti scoperte fatte di recente, e che sarà di un immenso vantaggio nelle arti. Boucherie ha ottenuta la conservazione del legno facendogli assorbire una soluzione di *pirolignito* di ferro. Portare questo liquido in tutte le parti di una pianta molto alta, far ciò prontamente e con economia, sono le questioni che Boucherie ha risoluto per mezzo dell'assorbimento di cui abbiamo parlato. Il tronco di un grosso albero qualunque, appena tagliato e conservato coi suoi rami e foglie, è immerso nella suddetta soluzione. Un pioppo di 28 metri d' altezza e di 40 centimetri di diametro, in sei giorni d' immersione fu interamente penetrato dal liquido, e ne assorbì la quantità enormo di tre *ettolitri*. Quando si pensa alla natura tanto diversa del pirolignito di ferro e dei sughi che scorrono abitualmente nella pianta onde nutrirla, e se ne veggono nullameno degli effetti tanto conformi, come si

può non riconoscere tutta la nullità di certe dottrine sull' assorbimento, che hanno regnato e pur troppo regnano ancora in Fisiologia?

Onde spiegare questi fenomeni che sogliono attribuire ad *una forza d'aspirazione*, può ricorrersi alla doppia azione della capillarità, e della pressione atmosferica, che vedremo esser capace di sostenere nell'interno di un tubo su cui questa pressione non agisce, una colonna d'acqua alta 38 piedi. Può quindi ammettersi che è per la pressione atmosferica che il liquido sale nella pianta, che per la capillarità questo movimento d'ascensione è favorito, e che inoltre è per capillarità che il liquido si trova portato all' estremità dei pori e vien impedito all' aria di entrare, senza di che la colonna liquida cadrebbe immediatamente. Nel caso del tronco di una pianta l'ascensione è continua, perchè dell' acqua continuamente si disperde dalle fogiie o dalla superficie dei rami per evaporazione, e nuova ne sale a riprendere il posto. Nel tubo pieno di cenere o di sabbie cessa il fenomeno una volta che tutta la massa è inzuppata d' acqua. Magnus ha mostrato con un' esperienza questo effetto dell' evaporazione. Ha preso un imbuto, e chiusa l'estremità larga con un pezzo di vescica, ha tutto empito d'acqua; e tenendo chiuso col dito il tubo, lo ha rovesciato ed immerso in una massa di mercurio. Anche in questo caso, dopo un certo tempo, si è sollevata nel tubo la colonna di mercurio. Questo fatto non può intendersi senza ammettere che i pori della vescica permettono al vapor d'acqua di escire e non all'aria di entrare, giacchè altrimenti la colonna del liquido cadrebbe all'istante.

È questa stessa la spiegazione del curioso fatto, che si osserva tenendo dei gas entro vasi di vetro nei quali vi si è praticata una fenditura: si trova che vi son certi gas, come l'idrogene, che escono; mentre altri, come l'aria, sono arrestati.

Non finirei mai se volessi parlarvi di tutti i casi nei quali convien tener conto della capillarità dei corpi dei tessuti organizzati. Come negar l'influenza della capillarità nei fenomeni dell'assorbimento, e come non vedere un vero sogno nelle dottrine pur troppo accreditate di certi Fisiologi, che parlano di attività speciali a certi tessuti ad assorbire, ad imbeversi più tosto d'un liquido che d'un altro, di prenderne uno, di rigettarne un altro?

Troppi altri sono i fenomeni di Fisiologia vegetabile ed animale, che assai facilmente s'intendono coi principi della capillarità che ci son noti, e pei quali si sono create delle *forze vitali*. Fate una soluzione carica di una sostanza colorante e a modo che questa vi sia quasi sospesa, con caffè, inchiostro ec., e versatene una goccia sopra una carta sugante. Vedrete immediatamente l' acqua e la sostanza colorante separarsi; la prima è assorbita, inzuppa la carta, e forma la parte esterna della macchia; nel centro è invece tutta la sostanza colorante che non può passare pei fori o tubi capillari della carta: è una specie di filtrazione che avviene, è un fenomeno capillare. Fate che per una contusione o una ferita, una goccia di sangue si sparga entro un tessuto; dopo un poco separandosi questa in siero e in sostanza colorante, si vedrà la sostanza colorante al centro della macchia perchè non assorbita, e il siero invece formerà la parte esterna della macchia perchè assorbito. Permettetemi ancora un altro esempio di questo genere. Gettate una carta qualunque sopra dell'acqua, e all'istante la vedrete incurvarsi, farsi concava esternamente, e persistere in questo stato finchè tutta sarà imbevuta: se invece quella carta l'aveste scaldata da una parte, l'avreste vista incurvarsi inversamente; la parte riscaldata si sarebbe fatta concava. Nel primo caso è accaduto che una delle facce avendo assorbito l'acqua ed essendo così accresciuta di dimensioni più dell' altra faccia, ha dovuto per necessità incurvarsi e formare la faccia convessa; il contrario è accaduto nell' altro caso. Questi fatti semplicissimi ci spiegano una folla di altri che avvengono nei vegetabili, quando si tenge conto della organizzazione varia nelle diverse parti. Chi non vede che un fiore chiuso nella notte, dovrà aprirsi al mattino allorchè il sole verrà a scaldare la parte esterna dei petali?

Potrei aggiungere molti altri fatti, nella spiegazione dei quali troppo s' è trascurata l'influenza delle cause generali, l'azione degli agenti fisici, per mettere in loro posto forze misteriose. Non è però che non si debba applicare la Fisica alla Fisiologia con molta circospezione. Per provarvelo vi dirò ancora di un fatto che appartiene alla vita dei vegetabili, scoperto dal celebre Hales. Tagliate il tronco di una vite nell'epoca che il *succo sale*: unite strettamente al tronco un tubo di vetro piegato ad N come nella *Fig.* 68. e versate il mercurio in questo tubo. Se l' esperienza è ben preparata, e il tronco e il tubo sono riuniti esattamente, vedrete presto il mercurio sollevarsi nel braccio *n'*. Hales trovò in un'esperienza una differenza di livello nelle colonne di mercurio contenuto nei due bracci *n* ed *n'* di circa 38 pollici. Quando noi avremo imparato a misurare la pressione dell'atmosfera, vedre-

mo che in questa esperienza *la forza d' impulsione* del succo della vite contra la colonna di mercurio, la qual forza è la sola causa di questo sollevamento, faceva equilibrio ad una colonna d'acqua alta più di 40 piedi. Cosa è mai questa forza d'impulsione? Di certo nulla di questo può attribuirsi alla capillarità: il liquido non può mai escire dal tubo capillare in cui vien sollevato. Dutrochet provò con un' esperienza ingegnosa che la causa di questa impulsione risiedeva nella estremità delle radicette: un tronco di vite tagliato per più volte in punti sempre più vicini alle radici, seguitava tuttavia a spinger fuori succo dalla parte che rimaneva unita alle radici, mentre tutto cessava nel tronco tagliato. Dutrochet aggiunse un altro fatto, che vide identico con quello che abbiamo esposto. Benchè se ne ignori ancora la cagione, io devo esporvelo ora. Immaginatevi un tubo T (*Fig.* 48) avente un serbatoio K più largo, e chiuso da una membrana V V'. Il tubo T può avere qualche millimetro di diametro interno. Potete prepararvi facilmente questo apparecchio con un imbuto di vetro comune, di cui chiuderete l'orifizio più largo con un pezzo di vescica legata all'orlo. Empite d'alcool il tubo T, e tuffatelo in una massa d'acqua N, senza che la membrana tocchi il fondo del vaso. Qualunque sia stato il livello dell'alcool nel tubo, vedrete dopo pochissimo tempo, appena un quarto d'ora, la colonna d'alcool sollevarsi, e dopo un giorno si sarà alzata anche di tre o quattro decimetri e seguiterà poi a scolare fuori del tubo. Questo è di certo un fenomeno che non può spiegarsi colla sola capillarità. Ecco ciò che è accaduto: l' acqua è passata a traverso la membrana, camminando contro i principi d' idrostatica che già conosciamo. Sarebbe accaduto egualmente se l'acqua fosse stata al di dentro, e l'alcool fuori; si sarebbe alzato in questo caso il livello esteriore, ed abbassato quello del tubo. Dutrochet ha chiamato *endosmosi* questa corrente dell'acqua all'alcool. Nè è il solo alcool che goda di questa proprietà; v'è endosmosi dall'acqua all'acqua di gomma, all'acqua carica di acido acetico, di acido nitrico, e soprattutto di acido idroclorico ec.; non v'è endosmosi fra acqua e acqua, fra acqua e acqua carica d'acido solforico. Dutrochet ha pure dimostrato che di tutte le soluzioni organiche l' acqua albuminosa era quella che produceva l'endosmosi nel maggior grado; poi la soluzione di zucchero, l'acqua di gomma, e infine l' acqua gelatinosa. Nè crediate che questa proprietà appartenga alle sole membrane vegetabili ed animali; ma anche le lamine di terra cotta, di argilla, producono l'endosmosi: e mentre le membrane vegetabili cessano dell' agire dopo qualche tempo, le *membrane inorganiche*, se potrò così chiamarle, persistono nella produzione di questo fenomeno. Molto si è detto onde spiegare il fatto curioso di Dutrochet, ma tutto venne sempre a mano a mano distrutto da nuovi fatti. Parmi che le circostanze principali del fenomeno si riducano a queste: 1. che i due liquidi si possano mescolare, e vi sia perciò un certo grado di affinità fra loro; 2. che la membrana s'imbeva disugualmente dei due liquidi, e che sieno diverse le loro azioni capillari. È generalmente provato dai fatti che l'aumento di volume per endosmosi ha luogo per quel liquido che possiede più debolmente l'azione capillare. È anche fuor di dubbio che nelle membrane esiste una varia attitudine ad imbeversi di diversi liquidi. Dobbiamo a Doebererner un fatto curioso, che merita di esser qui citato. Se si empie una vescica di alcool diluito di una certa parte di acqua, e si lascia all'aria, dopo qualche tempo si trova che l'alcool è divenuto più concentrato. Non può intendersi questo fatto senza ammettere che la membrana si è imbevuta d'acqua più facilmente che d' alcool, e che perciò la prima ha potuto evaporarsi più abbondantemente dell'altro.

Prima di dare spiegazione di questi fenomeni egli è bene attendere che nuovi esperimenti ci rechino maggior lume. Ho dovuto però parlarvene perchè molto importanti, nè in altro luogo lo avrei potuto fare più convenientemente. Certo è che i fenomeni della capillarità hanno molta parte in quelli dell' endosmosi.

Di quante applicazioni alla Fisiologia sia ricca questa scoperta di Dutrochet ve ne persuaderete facilmente, riflettendo quanto mai è frequente il caso di tessuti organizzati, di membrane, che separano liquidi di diversa natura, e fra le quali devono perciò operarsi dei fenomeni d'endosmosi. Non possiamo noi difatto ridurre l' atto elementare della vita, della funzione nutritiva, a quello di una vescichetta che assorbe liquidi e gas, ed emette liquidi e gas? Perchè queste applicazioni dell'endosmosi ai fenomeni fisiologici possano farsi, rimane ancora molto a scoprire. Importa principalmente di tentare colle diverse membrane, e non solamente disseccate e poscia inumidite, ma prese quai si trovano nell'animale vivo. Conviene ancora studiare la diversa influenza che aver possono sull' endosmosi le due facce della membrana adoperata, qualunque sia.

Le poche ricerche che ho potuto recentemente fare in questa direzione sull' en

dosmosi, e che si trovano nelle mie *Lezioni sui fenomeni fisico-chimici dei corpi viventi*, addimostraoo abbastanza che vi sono membrane, come lo stomaco d'agnello, che operano cogli stessi liquidi in senso opposto a quello proprio della vescica urinaria, e che vi hanno grandi differenze nell' intensità e anche nel senso dell'endosmosi, le quali dipendono dalla disposizione sola della membrana rispetto ai due liquidi.

A voi specialmente, che vi siete proposti lo studio della Fisiologia e della Medicina, dirigo queste considerazioni. Applicate le teorie fisiche ai fenomeni dell' organismo con tutta la riserva possibile; ma guardatevi dal non tenerne conto, e soprattutto non immaginate nuove forze sinchè non avrete inutilmente tentato di spiegarli colla scorta degli agenti fisici generali.

LEZIONE XX.

Stato gassoso dei corpi. — Peso dei gas. — Forza elastica dei gas. — Compressibilità dei gas. — Condizioni generali d'equilibrio dei gas. — Atmosfera.

Parlando in una delle precedenti lezioni dello stato della materia, abbiamo visto come si giungeva ad intendere lo stato gassoso, supponendo che la sola forza ripulsiva del calorico agisse sopra le molecole dei corpi. Da ciò la grande mobilità che caratterizza questo stato della materia, e la forza di espansione con cui sempre tendono i gas ad estendersi, ad aumentare indefinitamente di volume. Ora ci è d'uopo occuparci più di proposito dello studio di queste proprietà; dobbiamo determinarle per tutti i gas coll' esperienza, dopo di che potremo stabilire le condizioni d' equilibrio d' una massa gassosa qualunque.

Non spetta a noi di far la storia dei diversi gas conosciuti: per noi l' acido carbonico, l' idrogene, l'ossigene, l' azoto ec. sono corpi che solo differiscono, come ben vedremo, nel peso; hanno tutti comuni le stesse proprietà, quelle che appartengono allo stato gassoso, alle quali solamente dee volgersi il nostro esame. Dovremo occuparci più profondamente dell' aria atmosferica; questo corpo si manifesta a noi per troppi fenomeni che tutti c' interessano sommamente, nè possiamo parlarvi degli altri gas senza aver riguardo all' aria in mezzo alla quale operiamo. Tuttavolta le proprietà generali dello stato gassoso sono comuni ai gas che ho nominato ed all' aria, che è un miscuglio di due di questi(ossigene e azoto).

I gas, come tutti i corpi, soffrono l' azione della gravità. Ma poichè non cadono essi immediatamente sotto i nostri sensi, è utile che io vi provi coll' esperienza che i gas sono pesanti; e che lo sono diversamente. Si ottiene in generale il peso del gas pesando un dato volume di gas in un recipiente, poi determinando il peso del recipiente vuoto. Per mezzo della macchina che fa il vuoto, e che descriveremo più innanzi, si estrae l' aria atmosferica da un pallone munito di *robinet*. Si può allora introdurvi un altro gas, che deve esser sempre ben puro. Per misurare la densità del gas, si è convenuto di riferirla a quella dell' aria atmosferica presa sotto una data pressione e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Si vedrà più innanzi che queste condizioni sono necessarie, variando la densità dei gas con questi due elementi. Bisognerà perciò che il peso del volume del gas eguale a quello dell' aria, e da cui si ha la sua densità, sia ottenuto riducendo il gas alle stesse condizioni di pressione e di temperatura. Siccome però, e lo vedremo in seguito, tutti i gas variano egualmente per le variazioni di pressione e di temperatura, il rapporto del peso di uno stesso volume di due gas o la densità, non varierà, purchè sieno ambidue sotto le stesse condizioni di temperatura e di pressione. Si è trovato che il peso di un litro d' aria alla temperatura di zero, e sotto la pressione di *un' atmosfera*, è eguale a 1, gr. 2991. Dato questo peso di un litro d' aria è chiaro che può aversi il peso di un litro di ogni altro gas, moltiplicando il detto numero per la densità del gas: quindi per un gas di cui la densità è 0,0688, essendo 1 quella dell' aria, il peso di un litro di questo gas sarà 89 milligrammi: questo gas è l' idrogene.

Occupiamoci ora della forza espansiva che abbiam detto essere la proprietà caratteristica dello stato gassoso. Se le molecole di un gas si respingono di continuo, forza è che premano contro le pareti del recipiente in cui sono contenute, e tutto il gas dovrà escirne quando vi si faccia un foro. Ne risulterebbe che tutti i vasi sarebbero vuoti, quando avessero un' apertura qualunque. Ma un' esperienza semplicissima può spiegarvi come questa conseguenza della forza espansiva dei gas non abbia luogo, ed anzi vi mostrerà che è per la stessa forza

espansiva del gas esteriore che il gas non esce. Infatti per quella stessa forza per cui un gas contenuto in un vaso preme contro le pareti e tende ad escire, per questa stessa l'aria esterna, che è il gas in mezzo al quale noi operiamo, necessariamente preme in senso contrario le pareti esterne e tende ad entrare e ad empire il vaso. Fra le quali due pressioni v'è equilibrio allora che sono eguali, e il gas non esce nè lascia entrare altro gas dal di fuori. Questo equilibrio delle pressioni e forze espansive dei gas può esservi di leggieri dimostrato coll'esperienza. Immaginate un recipiente a pareti mobili, come sarebbe un recipiente di vetro, chiuso nella bocca da un turacciolo di sughero bene adattato: mettete questo recipiente entro un altro da cui possiate con una macchina estrarre l'aria. Appena avrete cominciato a fare il vuoto, vedrete il turacciolo lanciato dal di dentro al di fuori per la forza espansiva dell'aria contenuta nel piccolo recipiente di vetro, perchè questa non è più distrutta dalla stessa forza nell'aria esteriore. Invece di questo recipiente di vetro posso mostrarvi ciò che avviene dell'aria contenuta in una vescica ben chiusa. Mettete questa vescica nel recipiente (*Fig.* 59) in cui potrete fare il vuoto, e cominciate ad estrar l'aria. La vescica si gonfia immediatamente, si gonfia egualmente in tutti i sensi, e per quanto lo permettono le pareti della membrana che devono estendersi. Posso farvi questa esperienza mettendo in luogo dell'aria atmosferica qualunque altro gas. Eccovi due altre vesciche che contengono una un poco di gas idrogene, l'altra dell'acido carbonico: appena comincia a farsi il vuoto, le due vesciche si gonfiano. Lasciate di nuovo entrar l'aria, e le vesciche in tutti i casi riprendono all'istante il loro primo volume. Questa esperienza è assai chiara, e facile ad intendersi: il gas è dilatato, s'è accresciuto di volume, perchè fra le sue parti v'è una forza continua che le allontana, le respinge l'una dall'altra. Questa tensione, questa tendenza permanente e costante dei gas a dilatarsi, e premer contro le pareti dei vasi che li contengono, è chiamata *forza elastica*, *elasticità*, *forza espansiva*, *tensione dei gas*, espressioni che hanno tutte lo stesso valore. Non è meno facile di provarvi coll'esperienza la pressione dell'aria esterna, quella che abbiam visto fare equilibrio alla stessa forza nei gas ritenuti dentro un recipiente qualunque: invertite l'esperienza fatta or ora, estraendo l'aria nell'interno di una vescica, o meglio in un vaso di cui un pezzo di parete sia di questa sostanza (*Fig.* 54). Appena darete alla macchina i primi colpi, e il vuoto comincerà a farsi, osserverete la membrana incurvarsi come lo farebbe per una forza esterna che le premesse contro, e seguitando ad estrar l'aria la membrana finirà per rompersi. Il che è precisamente il contrario di quanto è accaduto lasciando l'aria nella vescica, ed estraendo l'aria esterna. Supponete quella vescica che rimpiazza la parete del vaso applicata in un punto qualunque del vaso stesso; supponetela nell'alto, in basso, inclinata, curva, immaginatevela in somma disposta in un modo qualunque, patirà in ogni caso gli stessi effetti che abbiam descritti. Sia che l'aria esteriore prema per entrare, o l'aria interna per escire, la pressione sarà costantemente eguale in tutti i sensi. Nè crediate che questa forza che incurva la membrana, o che gonfia la vescica sia piccola: osservate questa piccola vescica quasi sgonfia che introduco nel fondo di una specie di secchio, e su cui pongo un cilindro di piombo, che non pesa meno di 30 o 40 libbre. Copro tutto col recipiente della macchina pneumatica, comincio ad estrar l'aria, e tosto il cilindro si solleva pel gonfiarsi della vescica. Ma l'effetto di questa pressione dell'aria può anche meglio vedersi con questi due emisferi di rame (*Fig.* 53) che s'innestano esattamente l'uno coll'altro, e dai quali posso estrar l'aria che rimane rinchiusa fra loro. Appena è fatto il vuoto nell'interno dei due emisferi, una forza enorme occorre per separarli; e posso provarvi facilmente che questa forza è dovuta alla pressione dell'aria esterna. Suspendete i due emisferi nell'interno del solito recipiente da cui potrete estrar l'aria, e osserverete che allorquando sarà fatto il vuoto, i due emisferi si separeranno, cadendo l'inferiore pel proprio peso. Accade in questo caso quello che accadeva quando v'era aria dentro ai due emisferi: in quel caso vi erano pressioni eguali e contrarie, che perciò si distruggevano. In quest'ultima esperienza era tolta ogni pressione, e fuori e dentro. Impareremo in breve a misurare esattamente queste pressioni.

Poichè l'aria è elastica, e tende perciò ad espandersi incessantemente a mano a mano che si toglie la pressione esteriore con cui è in equilibrio, deve di certo accadere che aumentando questa pressione diminuisca il suo volume, aumenti la densità, si *comprima*. È questa pure una verità assai facile a mostrarsi coll'esperienza: prendete un tubo di metallo o di vetro, chiuso ad un'estremità entro cui si muova esattamente uno stantuffo. Posso farvi questa esperienza con un *acciarino pneumatico*, che appunto non è altro che il tubo che abbiamo descritto. Ab-

bassate lo stantuffo nel tubo, l'aria si comprimerà necessariamente, e lo stesso sarebbe accaduto qualunque altro gas aveste sottoposto all'esperienza. Questa esperienza ci prova inoltre un altro fatto importante su cui torneremo più a lungo; ed è che a mano a mano che l'aria si comprime, la sua forza elastica o pressione contro le pareti del tubo va sempre crescendo. Di fatti proverete uno sforzo nell'abbassar lo stantuffo tanto maggiore, quanto più lo stantuffo sarà in basso e quindi maggiore la compressione. Se il vostro tubo ha un foro da cui l'aria possa escire, lo stantuffo si muoverà colla stessa facilità per tutta la sua corsa.

I gas sono dunque pesanti, compressibili, elastici, comunicano in tutti i sensi e egualmente le pressioni che soffrono in un punto qualunque della loro massa, aumentano di tensione, di forza elastica allorchè sono compressi. Questi caratteri bene stabiliti coll'esperienza, ci bastano per poter dedurre le condizioni generali dell'equilibrio di una massa d'aria. Supponete per un momento una massa d'aria senza peso contenuta in un recipiente; vi è in questo caso una sola condizione d'equilibrio, ed è che la forza elastica del gas sia distrutta dalla resistenza delle pareti, e si trovi eguale in tutti i punti della massa. Essendo la massa d'aria pesante, il suo equilibrio ha luogo allorchè gli strati della colonna d'aria crescono di densità avvicinandosi alla superficie della terra, e allorchè ogni punto di uno strato orizzontale ha la stessa forza elastica. Queste condizioni d'equilibrio sono necessarie per ogni massa gassosa per quanto grande o piccola si prenda, e sono perciò le condizioni d'equilibrio di quella massa immensa d'aria che circonda la terra da tutte le parti, che ruota insiem colla terra, nella quale con noi tutti i corpi della superficie sono immersi. Si concepisca ad un'altezza qualunque uno strato atmosferico parallelo alla superficie delle acque, e continuo tutto attorno alla terra: di certo tutti i punti di questo strato aver devono per l'equilibrio la stessa forza elastica, e devon soffrire la stessa pressione degli strati sovrapposti. Un secondo strato parallelo a quello, e più basso p. e. di 100 metri, dovrà per l'equilibrio soffrire in tutti i punti la stessa pressione, e quindi avere in tutti la stessa elastica; ma vi sarà fra la condizione d'equilibrio di questo strato e quella dell'altro, una differenza notabile. Lo strato più basso sopporterà oltre il peso degli strati d'aria sovrapposti al primo, anche gli strati frapposti per un'altezza di cento metri; soffrirà una pressione maggiore, sarà maggiormente compresso, e avrà necessariamente una densità più grande. E poichè l'aria oppone a queste pressioni la sua forza elastica, convien concludere per queste condizioni d'equilibrio dell'atmosfera, che crescendo le pressioni sopra uno strato d'aria, crescano pure corrispondentemente le forze elastiche con cui l'aria resiste. Impareremo più innanzi a determinare coll'esperienza la legge precisa che regola il rapporto fra il volume, la densità, la pressione, e la forza elastica di un gas. Sin da questo momento però possiamo farci un'idea ben netta di questa forza elastica dei gas, e concepire come una piccola massa d'aria possa premere con la stessa forza di una massa tanto grande come l'atmosfera. Il che avviene perchè la pressione che si esercita sopra uno strato d'aria ne aumenta anche la sua forza elastica, ed è sempre con questa forza che il gas preme e distrugge le pressioni cui è sottoposto. Immaginate nell'atmosfera uno strato d'aria preso ad un'altezza qualunque: dopo ciò che abbiam detto, le pressioni saranno varie alle diverse altezze, perchè è vario il peso delle colonne sovrapposte. Per queste diverse pressioni l'aria è diversamente compressa, ed acquista quindi una diversa elasticità: per uno strato orizzontale tutte queste condizioni sono le stesse. Rinchiudete in un recipiente una piccola massa d'aria presa in questo strato: è chiaro che avrà la stessa forza elastica di prima, e che con questa forza premerà contro le pareti del vaso. Fate un foro nel vaso; tutto resterà in equilibrio perchè le pressioni sono eguali ed opposte, per l'aria interna ed esterna. Da una parte v'è la pressione dovuta al peso di tutta la colonna d'aria atmosferica; dall'altra v'è la pressione dovuta alla forza elastica dell'aria contenuta nel recipiente, la quale ha la stessa densità dello strato d'atmosfera con cui comunica. Più innanzi vedremo che elasticità e pressione sono per un gas qualunque sempre proporzionali fra loro, e sempre si misurano l'una coll'altra.

Quale sarà per l'atmosfera lo stato delle ultime molecole che la compongono, dopo ciò che abbiam detto della elasticità dell'aria? Vi sarà egli una superficie libera come hanno i liquidi? Potrebbe credersi, ammettendo indefinita la forza elastica nei gas, che non dovesse esservi questo strato ultimo dell'aria atmosferica: ma d'altra parte la sua esistenza ci vien provata da molti altri fenomeni, di cui parleremo più innanzi. Può supporsi che la ripulsione fra le parti del calorico con cui ci rappresentiamo la forza elastica di un gas, portate le molecole a distanze assai grandi come deve avvenire in un'aria infinitamente rarefatta, ces-

si dall'agire, nel modo stesso con cui vedremo insorgere l'attrazione molecolare e vincere la ripulsione; allorchè le molecole del gas si trovano grandemente avvicinate.

LEZIONE XXI.

Pressione dell'atmosfera. — Barometro di Torricelli. — Barometro di Pascal. — Esperienza di Pascal. — Costruzione e usi del Barometro. — Pressione dell'atmosfera sul corpo umano.

Abbiamo dimostrato che l'aria e tutti i corpi gassosi obbediscono all'azione della gravità; abbiamo visto come può aversi il peso di un volume d'aria o gas qualunque e come può ottenersene la densità; è tempo che impariamo a misurare esattamente quale è la pressione della colonna d'aria atmosferica sulla superficie della terra. Questa pressione sarà, come già abbiamo detto, e come anche meglio lo dimostreremo, la misura della forza elastica dello strato d'aria premuto. L'atmosfera circonda in tutti i punti la superficie della terra, preme sul nostro corpo, sulla superficie delle acque, preme sopra ogni punto, e la pressione che produce è, come quella dei liquidi, più o meno grande secondo la sua densità, e l'altezza della colonna che preme. È un apparecchio assai semplice quello che ha servito e serve sempre a determinare la pressione dell'atmosfera. Non avete che a ricordarvi il principio dell'equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti, per intenderlo facilmente. Immaginatevi un tubo ricurvo di vetro chiuso ad una estremità, e supponete l'altra aperta e prolungata sino all'ultimo strato dell'atmosfera. Empite di mercurio, di acqua, di alcool, di un liquido qualunque il tubo chiuso, e se esiste questa pressione dell'atmosfera si eserciterà sulla base della colonna liquida, e agendo in senso contrario ne terrà sollevata una parte, quella di cui il peso è eguale al peso della colonna d'aria contenuta nel braccio del tubo che ho supposto prolungato sino al limite estremo dell'atmosfera. L'altezza della colonna sostenuta, dovendo produrre sempre la stessa pressione per fare equilibrio alla pressione dell'aria, dovrà necessariamente essere diversa pei diversi liquidi. La colonna di mercurio che farà equilibrio alla pressione dell'atmosfera dovrà esser circa 14 volte meno alta della colonna d'acqua; e in generale queste altezze saranno in ragione inversa della densità. Ricordiamoci ancora che la pressione di un liquido, o fluido pesante qualunque, è indipendente dalla forma del vaso che lo contiene, ed è perciò inutile che noi supponiamo prolungato il tubo della colonna d'aria sino al limite dell'atmosfera: la pressione della colonna liquida che sta sollevata sulla base comune è sempre misurata, e misura nel tempo stesso la pressione della colonna d'aria che ha per altezza l'altezza totale dell'atmosfera. Sopra questo principio semplicissimo è fondata la teoria del *Barometro* inventato dal celebre Torricelli, allievo di Galileo. La costruzione di questo istrumento è assai semplice: ordinariamente si fa empiendo di mercurio un tubo di vetro alto circa un metro, chiudendone l'estremità aperta col dito, e introducendola poi sotto il mercurio dopo averlo rovesciato. Se allora si toglie il dito, la colonna di mercurio si abbassa, e si arresta ad un'altezza di circa 76 centimetri. È questa la colonna di mercurio che alla superficie del mare, o ad altezze non molto al disopra di questa, fa equilibrio al peso della colonna atmosferica. Il principio su cui è fondata la costruzione che abbiamo descritta è identico a quello che abbiam dedotto dalla legge idrostatica dell'equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti. La superficie libera di una massa liquida soffre in tutti i punti la pressione dell'atmosfera; e se noi immaginiamo nella massa liquida tanti tubi ricurvi che terminino alla superficie, intenderemo perchè questa pressione eguale sopra tutte le estremità delle colonne liquide che abbiam supposto, produrrà l'equilibrio per tutte, e la superficie resterà piana. Ma se immergerete un tubo qualunque in questo liquido, e supponete tolta la pressione dell'aria sulla colonna liquida contenuta in questo tubo, dovrete ammettere che non potrà più esservi equilibrio, senza che la pressione dell'aria sul resto della massa liquida sollevi nell'interno del tubo una colonna di cui il peso sia eguale alla pressione della colonna atmosferica. Costruendo il barometro come abbiam visto, non facciamo altro che lasciare sulla colonna di mercurio contenuta nel tubo uno spazio assolutamente privo d'aria, facciamo il *vuoto del barometro*. Qualunque sia l'inclinazione che daremo al nostro tubo, qualunque il suo diametro, sia ripiegato, torto in mille maniere, la pressione idrostatica, quella che fa equilibrio alla pressione dell'atmosfera, sarà sempre la stessa, cioè dovuta al peso di una colonna liquida di cui l'altezza è in tutti i casi l'altezza verticale sulla base orizzontale comune: correrà insomma lo stesso

principio dell'equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti (*Fig.* 27). Se questa colonna sostenuta dal peso dell' atmosfera fosse d'acqua, dovrebbe essere, come dicemmo, circa 14 volte più alta di quella di mercurio. Pascal poco dopo al Torricelli, nel 1646 costruì a Rouen un barometro ad acqua, e lo costruì nel modo stesso che abbiam fatto per quello di mercurio. Fece un tubo lungo 46 piedi, lo chiuse ad una estremità, lo empì d'acqua, e tenendo chiusa l'altra estremità con un turacciolo, lo sollevò e lo immerse in un vaso d' acqua. Tolto allora il turacciolo, vide la colonna d'acqua scender da prima ed arrestarsi all'altezza di 32 piedi; è questa la colonna d' acqua che fa equilibrio alla pressione dell'atmosfera, e di cui l' altezza corrisponde esattamente, rispetto a quella del mercurio, al rapporto inverso della densità di questi due liquidi. Pascal confermò ancora in altro modo la teoria di Torricelli, condotto da un ragionamento molto semplice. Pensò egli che se era la pressione dell'aria che teneva sollevata la colonna di mercurio, doveva questa colonna abbassarsi a mano a mano che si saliva nell'atmosfera. Pascal salì sull'alto del Puy-de-Dome con un barometro di Torricelli, e l'esperienza confermò esattamente la teoria. La colonna del barometro s'abbassava sempre a mano a mano che saliva più in alto: molte altre esperienze confermarono in seguito questo risultato. Saussure trovò sull'alto del gran S. Bernardo che la colonna del barometro non era più alta che 57 centimetri, e Gay-Lussac nel suo celebre viaggio aereostatico s' innalzò sino ad avere la colonna del barometro alta 32 centimetri.

Possiamo ora valutare precisamente questa pressione atmosferica. Quantunque la colonna del barometro sia soggetta ad alcune piccole variazioni di cui parleremo più innanzi, può prendersi al livello del mare d i un'altezza media di 76 centimetri. Sopra un centimetro quadrato di base la colonna di mercurio che fa equilibrio al peso dell'atmosfera, ha perciò un volume di 76 centimetri cubici; moltiplicate questo volume per la densità del mercurio, che è precisamente 13,59, essendo 1 quella dell'acqua, e avrete un *chilogrammo* e *trentatrè milligrammi* per la pressione dell'atmosfera sopra un centimetro quadrato. Misurate quanti centimetri quadrati formano la superficie della terra, moltiplicate questo numero per 1, chil. 033 ed avrete il peso totale dell'atmosfera, che è di circa 100,000,000, 000,000,000,000 di chilogrammi. È questo il peso dell'aria atmosferica e dei vapori che nuotano in essa continuamente.

L'importanza del barometro ci obbliga ad entrare in molte particolarità sulla costruzione di questo istrumento, e sulle diverse forme che gli si danno ordinariamente. Possono ridursi le condizioni generali onde eseguire colla maggior perfezione questo istrumento, alle seguenti:

1.° Affinchè il mercurio abbia costantemente la stessa densità è necessario che sia purissimo. Si estrae perciò dal cinabro o solfuro di mercurio: può anche aversi distillando il mercurio del commercio, o purificando questo coll' acido solforico o nitrico, che sciolgono a preferenza gli altri metalli con cui suol essere mescolato.

2.° Bisogna che il vuoto al di sopra della colonna barometrica sia perfetto: per quanto piccola fosse la quantità d' aria o di vapor d'acqua che rimanesse, distruggerebbe sempre una parte dell'effetto della pressione atmosferica, e la colonna non salirebbe mai al suo vero livello. Convien perciò spogliare il mercurio dell'acqua e dell'aria che vi aderiscono con tenacità, e questo stesso deve farsi per le pareti interne del tubo di vetro. A questo oggetto s'introduce il mercurio nel tubo per un terzo della sua lunghezza, e poi disteso il tubo con una certa inclinazione sopra una graticola di ferro, si circonda di carboni accesi, e si fa bollire per qualche tempo. S'introduce allora una nuova porzione di mercurio, e si ha cura di riscaldarlo prima d'introdurlo, correndosi, senza questo riguardo, il pericolo di rompere il tubo. Si ripete l'ebullizione pel nuovo tratto di mercurio introdotto, e questa stessa operazione si rinnova sinchè il tubo sia pieno. Allora tuffato al solito il tubo pieno in una massa di mercurio, il barometro è finito: e potrete assicurarvi che il vuoto è perfetto, se inclinando prontamente il tubo a modo che il mercurio venga a battere contro l' alto, sentirete un colpo secco. Importa di non molto prolungare l'ebullizione; nel qual caso perderebbe il mercurio, per l'ossido che si forma e si discioglie, la proprietà di aver convessa la sua superficie, ed invece si farebbe più o meno piana ed aderente al vetro.

Allorchè l' apparecchio è a questo punto costruito, non riman più che a fissare presso il tubo una scala esattamente divisa in centimetri e millimetri, e di cui lo zero corrisponda al livello esterno del mercurio nel pozzetto.

In un barometro costruito con le precauzioni indicate rimangono ancora, allorchè si fanno le osservazioni, delle cause di errore che importa di ben conoscere ed imparare a togliere. Sono, 1.° le variazioni di livello nel mercurio del pozzetto; 2.° la capillarità; 3.° le variazioni di peso della co-

lonna di mercurio prodotte dai cambiamenti di temperatura.

Allorchè per una causa qualunque la colonna del barometro sale o s' abbassa, il mercurio s' abbassa o sale corrispondentemente nel pozzetto; e poichè la nostra scala è fissa, il suo zero si trova or sopra or sotto del livello reale del mercurio nel pozzetto. È perciò necessario di render costantemente allo zero della nostra scala questo livello. Può esso ottenersi adoprando pozzetti di cui il diametro sia assai grande in confronto di quello del tubo. Supponete un pozzetto di cui il diametro sia 100 volte quello del tubo; la superficie di una sezione orizzontale del pozzetto sarà 10,000 volte quella del tubo. In questo caso, per una variazione di 5 centimetri, che vedremo essere superiore a quella che per un dato luogo può avvenire nella colonna barometrica, il livello del mercurio nel pozzetto non varierà che di 5/1000 centimetri, cioè di 1/2000 di centimetro, o 1/200 di millimetro; una tale variazione può considerarsi insensibile. Si è anche immaginato da Fortin di fare il fondo del pozzetto di pelle, contro cui prema una vite; un galleggiante indica se il livello del mercurio ha cambiato, e si riconduce alla sua prima posizione alzando od abbassando il fondo colla vite. Questo stesso risultato può ottenersi facendo pescare nel mercurio del pozzetto un pezzo d' acciaio, che può più o meno immergersi.

Noi conosciamo come la capillarità può alterare l'altezza della colonna barometrica: la superficie convessa di questa colonna produce una forza verticale diretta dall'alto al basso, e che s'aggiunge al peso della colonna per bilanciare parte del peso della colonna atmosferica. Può diminuirsi l'effetto della capillarità adoperando dei tubi di grosso calibro. In ogni caso basterà di conoscere il diametro interno del tubo per sapere qual depressione è prodotta dalla capillarità, e qual colonna va aggiunta per avere l'altezza totale dovuta alla pressione atmosferica. In un tubo di cui il diametro interno è di 20 millimetri, la depressione prodotta dalla capillarità non è che di 38/100 di millimetro.

L' influenza delle variazioni di temperatura sulla colonna barometrica è evidente: il calore dilatando il mercurio deve diminuirne la densità, per cui la colonna aumenterà di lunghezza al crescere della temperatura, e diminuirà nel caso contrario, supposta la pressione atmosferica costante. Le altezze barometriche non possono esser comparabili fra loro se non quando sieno fatte alla stessa temperatura. Vedremo nel trattato del Calore, come dei risultati ottenuti a diverse temperature possano essere ridotti alla temperatura dello zero, che è quella comunemente adottata.

Oltre i barometri a pozzetto che abbiamo descritto sin qui, si usano dei barometri *a sifone*, e questi sono specialmente adoprati nei viaggi. Dobbiamo a Gay-Lussac una modificazione importante, che rende portatile e comodissimo il barometro a sifone. Due tubi A B e C D (*Fig.* 50) dello stesso calibro, sono riuniti e saldati per mezzo di un terzo assai capillare B D. Sono i due primi tubi esattamente chiusi nella loro parte superiore, e non v'è che un foro estremamente piccolo o nel tubo più corto che fa da pozzetto. Il diametro eguale dei due tubi A B e C D distrugge l'azione della capillarità, essendo eguale e contraria dalle due parti. Il tubo B D intermedio è di un piccolissimo diametro, perchè allorquando l'istrumento è rovesciato (*Fig.* 51) come tiensi in viaggio, il mercurio resti sospeso al punto D per capillarità. Il foro o è così piccolo perchè l' aria v' entri, e non possa escirne il mercurio. Due scala graduate unite a questo istrumento hanno lo zero comune, e servono l'una pel tubo A B, l'altra pel tubo C D. Sottraendo le altezze delle due colonne l'una dall'altra, si ha quella che misura la pressione dell'atmosfera. Si usa oggi di porre lo zero delle due divisioni al disopra del livello del pozzetto, e in questo caso partendo le due scale da una linea intermedia h g, basta sommare le indicazioni delle due scale per avere la differenza di livello delle due colonne, che è la misura della colonna che cerchiamo.

Nel trasporto di questo istrumento può accader qualche volta che un poco d' aria s'introduca nell'alto della colonna: ciò avverrebbe anche facilmente tenendo orizzontale il barometro. Ma Buntin ha aggiunto alla costruzione di Gay-Lussac una modificazione che fa sparire questo inconveniente senza togliere alcuno dei suoi vantaggi. Una tale modificazione vedesi in grande nella *Fig.* 52. La porzione capillare D B della *Fig.* 50 è interrotta da un rigonfiamento della parte inferiore nella quale s'innesta per uno o due pollici la parte superiore tirata a cono molto sottile; i due tubi si saldano al punto a. È facile d'intendere che quand'anche una bolla d'aria tendesse, passando da un tubo all' altro, a salire, verrebbe arrestata fra le pareti nel punto c dove rimarrebbe senza alcuna influenza sull'altezza della colonna, e da cui può facilmente scacciarsi scaldando il tubo. Buntin ha anche aggiunta una strozzatura nel tubo alla sua estremità superiore, e per questo mezzo ha tolto l'urto dell'intera colonna che si ha nel

rovesciare il barometro, la quale può facilmente romperlo. In questo barometro di Gay-Lussac e Buntin che abbiamo descritto, v'è un solo inconveniente, ed è che per una data variazione di pressione, la corsa del mercurio per ognuna delle colonne non è che la metà di quella che avviene in un barometro simile a largo pozzetto. Si misurano perciò difficilmente le piccole variazioni, e la incertezza del risultato è resa maggiore esigendosi due operazioni in luogo di una.

Non finirei mai se volessi descrivervi le forme infinite immaginate nel barometro. Si sono adoprati barometri inclinati onde renderne le variazioni più sensibili; si abbandonò in seguito questa costruzione perchè la colonna di mercurio non vi si muove che a salti. Se ne trovano ancora degli antichi e che hanno questo stesso difetto, nei quali le variazioni si misurano per mezzo di un galleggiante di ferro munito di una piccola catena o asta dentata che ingrana in una ruota. Porta questa nel suo asse un indice assai lungo che gira intorno ad un quadrante. In generale non è che apparente il vantaggio che si ha in queste trasformazioni di movimenti: conviene cercare di aver le misure delle variazioni qualunque, nel modo più diretto possibile.

Noi abbiamo nel barometro un istrumento che ci dà ad ogni istante il peso della colonna d'aria, e con cui possiamo scorgere tutto quello che avviene nell'atmosfera a distanze grandissime da noi. Moltissime osservazioni fatte con questo istrumento hanno svelato una legge importantissima di Meteorologia. Avremo occasione di diffonderci a lungo sopra questo soggetto allorchè tratteremo di questa parte della Fisica, e mi limiterò per ora a dirvene ben poco. Si distinguono due specie di variazioni nel barometro: le une diconsi *accidentali*, che sfuggono ad ogni legge e non possono prevedersi mai. Si sa solamente che sono varie nei diversi climi, e alle varie altezze dell'atmosfera. Pare che i limiti fra cui queste variazioni accidentali sono comprese, crescano colla latitudine. Così è ben dimostrato che in tutta la zona equatoriale il barometro rimane insensibile anche sotto le più forti burrasche. Nei nostri climi queste variazioni accidentali sono assai più sensibili, e non è raro che il barometro soffra dei cambiamenti di qualche centimetro in pochissimo intervallo di tempo. A Parigi si è osservata un'altezza di 781 millimetri, e un'altra volta un'altezza di 719 millimetri; ed è cosa degna di osservazione, che queste due variazioni ebber luogo nello stesso anno, cioè nel Febbraio e nel Decembre del 1821.

Le altre variazioni diconsi, *orarie*, e procedono con una legge determinata. Onde scorgere queste variazioni conveniva prima determinare l'*altezza media barometrica del giorno*; e ciò si fece osservando il barometro d'ora in ora, di minuto in minuto se si vuole, sommando tutte le altezze osservate, e dividendo questo numero per quello delle ore o dei minuti in cui si era fatta l'osservazione. Ma Ramond ci ha liberato, con una lunga serie di esperienze, da queste infinite ricerche. Ha scoperto questo pazientissimo Fisico, che pei nostri climi l'ora del mezzogiorno è quella in cui l'altezza del barometro corrisponde all'altezza media del giorno. Sommando assieme le 30 altezze meridiane dei trenta giorni del mese e dividendo per 30 questa somma, si ha l'altezza media del mese: facendo lo stesso colle dodici medie dei 12 mesi dell'anno, si giunge infine all'altezza media dell'anno. La legge scoperta per le variazioni orarie, dovuta pure a Ramond, è questa: nell'inverno v'è un massimo d'altezza a 9 ore del mattino, un minimo a 3 ore dopo mezzogiorno, e un secondo massimo a 9 ore della sera. In estate il massimo ha luogo prima delle 8 ore del mattino, il minimo a 4 ore dopo mezzogiorno, e il secondo massimo a 11 ore della sera. Il sig. De Humboldt ha dedotto con una lunga serie d'osservazioni la legge di queste variazioni orarie all'equatore, le quali, quantunque di minore ampiezza che pei nostri climi, son tuttavia così costanti e regolari da poter servire alla misura delle ore come un orologio. Sotto l'equatore il massimo d'altezza barometrica corrisponde a 9 ore del mattino: dopo quest'ora cala il barometro sino alle 4, poi risale sino alle 11 della sera, e discende sino alle 4 del mattino. Queste regolari variazioni della colonna barometrica fra un massimo e un minimo del giorno si compiono per una lunghezza di soli due millimetri.

Non posso tacervi affatto l'applicazione che si è fatta del barometro alla misura delle altezze. Già abbiam visto che l'altezza della colonna barometrica diminuiva a misura che si saliva al disopra della superficie della terra; da ciò s'intende che la distanza verticale di due luoghi è legata all'altezza del barometro in questi due luoghi, e che deve esser possibile di misurare l'altezza delle montagne al disopra del livello del mare per mezzo di osservazioni barometriche. Se l'atmosfera avesse per tutta la sua altezza la stessa densità, nulla vi sarebbe di più facile che risolvere il problema di queste misure. La densità del mercurio è 10463 volte maggiore di quella dell'aria alla superficie della terra; deve perciò una colonna di mercurio alta un millimetro, fare equilibrio

ad una colonna d'aria alta 10. m463. Così di quanti millimetri si sarebbe abbassata la colonna del barometro salendo dalla superficie del mare sopra un monte, di tante volte 10,m463 sarebbe alto il monte sul mare. Ma la densità dell'aria è ben lungi dall'esser costante nei diversi strati dell'atmosfera, e sappiamo invece che questa decresce a misura che c'innalziamo nell'atmosfera, perchè vanno sempre diminuendo gli strati superiori che la comprimono. Queste variazioni di densità dipendono anche da quelle della temperatura, e dall'azione della gravità che diminuisce colla legge nota delle distanze. Oltredichè la quantità di vapor d'acqua è anche varia alle diverse altezze. È dunque un problema ben complicato quello di determinare le altezze col barometro. Devesi a Laplace una formola che considera tutti questi elementi, e dà la differenza in altezza di due stazioni, alla latitudine di 45,° date che siano le altezze barometriche A e a che si hanno in queste due stazioni, e le temperature T e t corrispondenti. Da questa formola abbiamo la differenza in altezza delle due stazioni, eguale a

$$18393 \left(1 + \frac{2(T+t)}{1000} \right) \log \frac{A}{a}.$$

Per mezzo di questa formola può aversi approssimativamente il limite dell'atmosfera, almeno sino a quell'altezza in cui la forza elastica fa equilibrio ad una colonna barometrica alta un millimetro, che è il maggior grado di rarefazione a cui giungiamo colle nostre migliori macchine pneumatiche. L'altezza dell'atmosfera a questo limite, si trova con questa formola di 46629 m, cioè all'incirca di 10 leghe.

Volendo determinare le altezze col barometro è utile, quando la distanza delle due stazioni non sia molta, di fare le due osservazioni simultaneamente. Quando questo non si possa, converrà calcolare sopra un certo numero di osservazioni fatte in giorni di aria calma e serena, e in ore poco lontane dal mezzogiorno, che sappiamo esser quelle della media altezza barometrica del giorno per quel luogo.

Ora che conosciamo la misura esatta della pressione di una colonna d'aria sopra un centimetro quadrato di base, possiamo facilmente valutare qual deve essere l'effetto di questa pressione atmosferica sulla superficie del corpo umano. Si calcola la superficie media del corpo umano a 7/4 di metro quadrato, per cui la pression totale dell'atmosfera che ci pesa sopra è in termine medio di 17500 chilogrammi. Cesserà ogni sorpresa del niuno effetto di queste grandi pressioni sul nostro corpo e specialmente sui nostri movimenti, allorchè osserveremo che da per tutto, in tutti i punti si contrabbilanciano mutuamente e vengono distrutte dalla resistenza che oppongono le parti del corpo a lasciarsi comprimere, e dalla reazione eguale e contraria dei fluidi che in esso si contengono. E di fatto non è più indifferente questa pressione se cessa di agire sopra una porzione del corpo: chiudete con una mano il foro del tubo di una macchina pneumatica, estraetene l'aria, e proverete una resistenza assai forte a ritirare la mano. Che poi vi siano questi fluidi elastici nell'interno del corpo, ve ne persuaderete osservando ciò che accade nell'applicazione di una ventosa. La carne è spinta dentro lo spazio della ventosa in cui l'aria è rarefatta, e il sangue ne esce da tutte le incisioni che vi furono fatte. E tale si è pure la cagione delle emorragie e di altri gravi accidenti che avvengono ascendendo rapidamente una montagna molto elevata. In questi ultimi tempi si è attribuita la stabilità delle membra e delle ossa nelle loro cassule articolari alla pressione dell'atmosfera, e si è voluto provare questa teoria mostrando che un membro cadeva pel proprio peso tirando seco l'osso fuori della sua articolazione, allorchè trovavasi nel vuoto della macchina pneumatica. Si sarebbe anche ottenuto questo stesso risultato portando per mezzo d'un foro l'aria esterna nello spazio di un'articolazione.

LEZIONE XXII.

Legge di Mariotte. — Limiti di questa legge. — Gas permanenti, e non permanenti. — Manometro — Miscuglio dei gas.

V'ho mostrato più volte che quando un gas era compresso e perciò diminuito di volume, la sua forza elastica cresceva colla densità, e v'era perciò un rapporto costante fra la densità e la pressione esercitata, fra le variazioni di volume di un gas e la sua forza elastica. Un'esperienza ben semplice può darvi a conoscere il legame fra la forza elastica di un gas e la pressione che egli esercita e la sua densità. Immaginatevi un recipiente qualunque dal quale possiate estrar l'aria, e disponetelo in modo che possa contenere un barometro nel suo interno; fate di più che sia in communi-

cazione con un tubo che venga a pescare al di fuori in una massa di mercurio. Appena comincerete ad estrarre l'aria, la colonna del barometro interno scenderà, e al contrario salirà il mercurio nel tubo che pesca al di fuori del recipiente. In una parola voi avete contemporaneamente in questa esperienza, un barometro che è disfatto, ed uno che si fa, a mano a mano che l'aria s'estrae. Il primo barometro, quello di cui la colonna scende, vi misura ad ogni istante la forza elastica dell'aria contenuta nel recipiente; il barometro che si fa, vi misura la differenza fra la pressione atmosferica e l'elasticità del gas interno, che va diminuendo a mano a mano che si estrae l'aria. Ad ogni istante dell'esperienza misurate la colonna del barometro interno, che riman sollevata, e l'altra del barometro esterno che si va facendo; sommatele insieme, ed avrete una colonna costantemente della stessa altezza, eguale a quella di un altro barometro disposto all'aria libera che osserverete contemporaneamente. Quando questa forza elastica è ridotta a tener sollevata una metà della colonna del barometro interno, la pressione sul barometro esterno ha sollevato una colonna che è pure la metà di quella che sarebbe in un barometro ad aria libera: la pressione di un gas, la sua forza elastica e la sua densità, son dunque costantemente in un determinato rapporto. Ma quale è questo rapporto, quale è la legge che segnono queste variazioni di volume e di forza elastica? L'apparecchio di cui ci serviamo per determinare la forza elastica dell'aria sotto diversi volumi, si compone di un tubo A B C D (*Fig.* 55) chiuso in D ed aperto in A; la parte D C di questo tubo è diviso in parti di eguale capacità, oltredichè vi sono lungo le due braccia D C ed A B delle scale divise in centimetri e millimetri, le quali partono da una stessa linea orizzontale. Si incomincia dall' introdurre nel tubo una piccola quantità di mercurio la quale serve a separare l'aria contenuta nel tubo D C, da quella del tubo A B che comunica coll'atmosfera. Convien cercare che il liquido resti allo stesso livello, onde la colonna soffra le stesse forze alle due estremità. È chiaro che le due piccole colonne di mercurio si fanno reciprocamente equilibrio, e che per conseguenza la forza elastica dell'aria contenuta nel braccio corto del tubo soffre la pressione dell'atmosfera e le fa equilibrio. Aggiungo allora del mercurio nel tubo A B, e veggo salire il mercurio anche nell'altro braccio e per conseguenza diminuire il volume dell'aria. Aggiungo tanto mercurio, che l'aria nel tubo D C sia ridotta ad occupare la metà del volume primitivo. Se allora misuro la differenza fra le due colonne di mercurio, trovo che è eguale all'altezza della colonna barometrica. Il volume dell'aria s'è dunque ridotto a metà, la sua densità s'è raddoppiata, e intanto s'è pur raddoppiata la pressione alla quale essa fa equilibrio. Sarà dunque nello stesso rapporto della densità e della pressione cresciuta anche la sua forza elastica. Se aggiungerete tanto mercurio che l'aria sia ridotta ad un terzo del suo volume, troverete che la differenza fra l'altezza delle due colonne è doppia dell'altezza del barometro. La forza elastica e la densità son dunque crescinte come le pressioni, ed il volume ha sempre variato in ragione inversa di queste pressioni. Ecco la legge di Mariotte: *i volumi occupati da una stessa massa di aria sono in ragione inversa della pressione che essa soffra, e le sue densità variano in ragion diretta di queste pressioni o della sua forze elastiche.* Questa legge può verificarsi per pressioni inferiori a quelle dell'atmosfera, ed in tal caso si adopera un tubo che pesca in un pozzetto molto alto, e dentro cui può spingersi e sollevarsi. Anche in questo caso il tubo è diviso in volumi eguali. Allorchè il mercurio è allo stesso livello nel pozzetto e nel tubo, si solleva quest' ultimo: l'aria vi si dilata, occupa un volume maggiore, la sua densità diminuisce per conseguenza, e quindi anche la sua forza elastica; e difatti la colonna del mercurio vi si solleva al disopra del livello esterno. Misurando il volume dell'aria nelle diverse posizioni del tubo e le pressioni alle quali quest'aria è sottoposta, le quali si ottengono sottraendo dalla pressione barometrica l'altezza del mercurio nel tubo sul livello esterno, si trova la legge di Mariotte verificata per pressioni inferiori a quelle dell'atmosfera. È indispensabile che in tutte queste esperienze l'aria di cui si misura la forza elastica sia perfettamente priva d'umidità. Conviene anche tener costante la temperatura per tutto il tempo dell'esperienza. In luogo dell'aria possono adoprarsi altri gas: basterà di adattare un *robinet* al tubo D C perchè possa introdurvisi un gas qualunque.

Arago e Dulong son giunti, con un apparecchio convenientemente costruito, a confermare la legge di Mariotte sull'aria sino alla pressione di 27 atmosfere. Petit e Dulong hanno pure verificata questa stessa legge sottomettendo diversi gas a temperature assai diverse. Non si può per altro in tutti i gas spingere la pressione molto innanzi, ed avere nel tempo stesso le diminuzioni di volume corrispondenti alla nota legge. Vi sono molti gas che ridotti con-

pressioni sempre più forti ad un certo minor volume, passano allo stato liquido. Si sono perciò distinti i gas in *permanenti* e *non permanenti*; l'aria è di tutti questi il corpo gassoso che ha resistito sin qui alle maggiori pressioni conosciute; ma egli è probabile che anche per questa vi sia una pressione aiutata da un raffreddamento conveniente, per la quale si faccia liquida. Difatti tutti i giorni vediam diminuire il numero dei gas permanenti, a misura che giungiamo ad ottenere maggiori pressioni e maggiori diminuzioni di temperatura. L'apparecchio che s'adopera per queste liquefazioni, e di cui la prima idea si deve a Davy e a Faraday, consiste in un tubo di vetro o di metallo a grosse pareti, in cui s'introducono le sostanze che per la loro reazione sviluppano il gas che vuol liquefarsi. Così volendo liquefare, come s'è fatto in questi ultimi tempi da Thilorier, il gas acido carbonico, pongonsi in un vaso metallico assai resistente due recipienti, in uno dei quali sia l'acido solforico e nell'altro il carbonato di soda. Chiusa in un modo solido l'apertura da cui s'introducono queste sostanze, si fanno reagire l'acido e il carbonato, rompendo con una scossa i recipienti che li contengono. La quantità enorme di gas che si accumula allora in questo vaso, produce da se tanta pressione da produrne la liquefazione.

Il quadro seguente contiene la lista dei gas che sono stati liquefatti, colle indicazioni delle pressioni e delle temperature corrispondenti.

Gas.	*Press.*	*Temp.*
Acido solforoso. .	2 atmosfere.	+ 7°
Cloro	4	— 15
Acido idrosolfor .	17	+ 8
Acido carbonico.	36	+ 0
Idem.	73	+30
Protoss. d'azoto .	51	+ 7
Cianogene	3,7.	+ 7
Acido idroclorico	40	+ 8
Gas ammoniaco . .	5	0

Probabilmente la legge di Mariotte che non si verifica per molti gas sotto grandi pressioni, cessa anche dall'esser vera allorchè queste pressioni sono ridotte estremamente piccole. La forza ripulsiva che esiste fra le molecole dei gas agirà come una forza che opera a distanze picciolissime; dovrebbe perciò accadere che portate le molecole per una grande diminuzione di pressione ad una certa distanza, sparisse la loro forza espansiva. E così stando, dividerebbero i gas coi liquidi la proprietà di esercitare pressioni quando vengono loro comunicate da forze estranee; la loro elasticità non si manifesterebbe che a questa condizione. Probabilmente in questo stato trovasi l'aria ai confini dell'atmosfera.

Questa legge di Mariotte sulla quale ci siamo tanto estesi, ci mette nel caso di ridurre colla massima facilità il volume di un gas sottoposto ad una pressione qualunque, a quel volume che prenderebbe sottoposto alla pressione costante dell'atmosfera. Sia ad esempio V il volume di un gas sotto la pressione che supporremo di 71 centimetri; è facile di dedurre dalla legge di Mariotte qual volume prenderebbe sotto la pressione di 76 centimetri, che abbiam preso per la pressione costante alla quale va ridotto il volume del gas onde avere dei risultati comparabili fra loro. Poichè i volumi sono in ragione inversa delle pressioni, avremo $V : X = 76 : 71$ da cui $X = V. \frac{71}{76}$. È frequentissimo il caso nelle ricerche fisiche e chimiche, in cui si deve determinare il volume di un gas raccolto entro una campana sotto l'acqua o sotto il mercurio. Convien cercare di prendere questa misura allorchè il liquido è alla stessa altezza e fuori e dentro il tubo, essendo in tal modo sicuri che il volume del gas di cui si dà la misura è preso sotto la pressione dell'atmosfera. Nel caso in cui non possa ridursi allo stesso livello il liquido interno e quello della vasca, si determina la pressione che soffre prendendo l'altezza della colonna barometrica in quel momento, e da questa sottraendo l'altezza del mercurio nel tubo che contiene il gas sopra il livello esterno. Quando il gas fosse raccolto sotto l'acqua, è chiaro che convien prima ridurre l'altezza della colonna d'acqua che è sollevata nel tubo in cui è il gas ad un'altezza corrispondente di mercurio. Trovata la pressione che soffre sotto quel dato volume, si ha il volume che avrebbe sotto la pressione di 76 centimetri, colla regola facilissima che abbiam dedotto dalla legge di Mariotte.

Sopra questi stessi principi è fondata la costruzione di un istrumento, che serve a dare la forza elastica di un gas sotto qualunque pressione, e quindi la misura di queste pressioni. Un barometro comune può ben servire per tutte le pressioni inferiori a quelle dell'atmosfera, ed anzi in questo caso si adopera un barometro troncato come quello che è unito alla macchina pneumatica. Quando la forza elastica del gas è maggiore di quella dell'atmosfera può adoprarsi un barometro comune, purchè la differenza fra la pressione atmosferica e la for

za elastica del gas sia piccola; converrebbe altrimenti dare al tubo un' altezza troppo grande. Si ricorre in questo caso ad un tubo aperto alle due estremità, una delle quali comunica coll' atmosfera, e l' altra pesca in una massa di mercurio sulla cui superficie preme il gas che si vuol comprimere. È evidente che l' altezza alla quale s' innalza il mercurio nel tubo messo in comunicazione coll' atmosfera è la misura dell' eccesso della forza elastica del gas compresso sopra la pressione dell' aria, e per conseguenza aggiungendo quest' altezza all' altezza barometrica, si ha la forza elastica del gas. Quando poi le pressioni che si vogliono misurare diventano assai grandi, si adopera un tubo come quello di Mariotte, e si misura la pressione tenendo conto del volume al quale l' aria compressa si riduce. Chiamasi *manometro* questo istrumento, di cui già ci siamo serviti parlando del piezometro. In quell'istrumento (*Fig.* 20) il tubo *f* contiene dell' aria su cui si esercita la pressione sofferta dall' acqua; l' aria diminuisce di volume, e questo, sempre minore al crescere delle pressioni, serve a darcene la misura. Con un istrumento di questo genere ridotto a dimensioni assai piccole, si misurano le pressioni fortissime alle quali avviene la liquefazione dei gas. S'introduce nel tubo in cui si comprime il gas un tubo capillare chiuso ad una estremità, diviso in parti di eguali capacità, e di cui l' aria secca è separata dall' aria esterna da una piccola colonna di mercurio che serve da indice.

Credo inutile ripetere che in tutti questi casi ho sempre ragionato nella supposizione che la temperatura rimanga invariabile.

Se invece di aumentare la forza elastica di un gas riducendolo con pressioni sempre crescenti ad un volume minore, s'introducono in un dato spazio costante altri volumi dello stesso gas, di cui le pressioni o forze elastiche siano anche diverse, risulta dalla legge di Mariotte che la pressione del miscuglio è uguale alla somma delle pressioni di ogni volume del gas ridotto al volume comune. Infatti sieno v e v' due volumi dei gas sotto delle pressioni p e p', e vengano questi introdotti nello stesso vaso del volume V. È chiaro che la pressione P del miscuglio è eguale a $p.\frac{v}{V}$ pressione del volume v ridotta al volume V, e più a $p'.\frac{v'}{V}$ pressione dell'altro riferita al volume V; da cui $P = p.\frac{v}{V} + p'.\frac{v'}{V}$, cioè $P\,V = p\,v + p'\,v'$. Se i due gas occupano i volumi v, e v' sotto la stessa pressione P, e sono mescolati in un vaso a pareti estendibili, dimodochè la pressione del miscuglio si trovi ancora esser P, dovrà essere il volume del miscuglio eguale alla somma $v + v'$. Se si fa nell' equazion precedente $P = p = p'$, ne viene $V = v + v'$. Questi principi si verificano coll' esperienza in tutte le circostanze, e sussistono mescolando del gas di natura diversa, e perciò suscettibili in certe circostanze di combinarsi insieme con una gran forza di affinità. Convien concludere da ciò, che le molecole dei gas dell' istessa natura o di natura diversa agiscono egualmente le une sulle altre, e che non vi è fra le molecole di due gas diversi alcuna attrazione sensibile, benchè sotto date circostanze possa esservi combinazione chimica fra loro, senza di che dovrebbe esservi nel miscuglio diminuzione di volume.

Ma in qual modo, con quali leggi agiscono due gas messi a contatto senza che vi sia combinazione chimica fra loro? Ecco ciò che l' esperienza ha risposto sopra questo soggetto. Allorchè si mettono in comunicazione due recipienti in ciascuno dei quali è un gas diverso e senza che siavi azione chimica dell' uno sull' altro, almeno in quelle circostanze, si trova dopo un tempo assai breve che i due gas si sono mescolati formando un tutto omogeneo, a modo che ogni parte del miscuglio contiene le stesse proporzioni dei due gas. Il quale risultato si ottiene qualunque sia la densità e la forza elastica dei gas prima di esser messi a contatto. Berthollet verificò questa condizione d' equilibrio dei gas mescolati nelle circostanze le più sfavorevoli. Prese perciò due palloni di vetro muniti di *robinet*, empì uno di questi d' acido carbonico o l' altro d' idrogene, presi tutti e due alla stessa pressione e temperatura. Riunì i due palloni, e mise in comunicazione i due gas aprendo i *robinet*. Il gas più pesante, cioè l' acido carbonico, era nel pallone inferiore, l' idrogene nel superiore; nel qual caso l' equilibrio sarebbe stato stabile per due liquidi a contatto. L' esperienza fu fatta nelle cave dell' Osservatorio di Parigi, dove la temperatura è presso a poco costante. Dopo poco tempo il miscuglio dei due gas era accaduto in modo, che in ogni pallone si trovava la stessa quantità di acido carbonico e d'idrogene. Questo risultato si verifica per due gas qualunque; e si è osservato che la rapidità colla quale il miscuglio raggiunge lo stato di perfetta omogeneità, aumenta colla differenza di densità dei due gas.

Risulta da questo principio la composi

zione costante dell'atmosfera a tutte le altezze, ciò che l'analisi chimica ha confermato fino all'altezza di oltre 7000 metri. Graham ha fatte alcune curiose esperienze sulla dispersione di un gas qualunque messo in comunicazione coll'atmosfera per mezzo di uno strato di materia porosa. Raccoglie egli i gas sotto una campana che pesca o sull'acqua, o sul mercurio. La campana ha superiormente un largo orifizio che si chiude, prima d'introdurre il gas, con gesso nello stato in cui si trova prima di *far presa*. Dopo un qualche tempo il gas e l'aria esterna hanno traversato il tappo di gesso, e la campana non contiene più che dell'aria. Questo risultato è facile ad intendersi dopo ciò che abbiam detto. L'omogeneità del miscuglio non può sensibilmente esistere in questo caso, se non che quando tutto il gas sarà escito, essendo infinita l'atmosfera rispetto al volume del gas. Graham ha scoperto che mantenendo costante la pressione del gas per tutto il tempo che esce, la quantità d'aria entrata stava alla quantità del gas escito, nel rapporto inverso delle radici quadrate delle densità rispettive.

È poi certo che molto deve influire sopra questi fenomeni la natura più o meno porosa dello strato di materia, attraverso di cui dee operarsi il miscuglio del gas. A questo proposito ricorderò ancora l'osservazione già citata parlando delle azioni capillari, che cioè il gas idrogene fugge dalle fenditure di una campana di vetro, mentre l'aria non può passarvi onde occupare il posto del gas che n'esce. Questo fatto è importante, e ci prova quanto in queste dispersioni dei gas si debba tener conto della natura della sostanza porosa attraverso cui accade il fenomeno. Forse sussiste nei gas quella proprietà che Dutrochet ha scoperta pei liquidi.

Vi mostrerò ora un fatto recentemente osservato dal Marianini, e che si riferisce all'azione reciproca di due gas. Facendo cadere le bolle di sapone piene d'aria in un vaso che contiene acido carbonico, si vedono le bolle gonfiarsi, e discendere nello stesso tempo. Ho provato ad empire di gas ossigene un pezzo d'intestino, e ad introdurlo poscia in una campana piena d'acido carbonico. L'intestino si gonfia, e si trova analizzando il gas che vi è contenuto non che quello della campana, che l'acido carbonico è entrato nell'intestino in maggior copia dell'ossigene escito. Operando con lo stesso intestino asciutto, i gas si mescolano ma più lentamente e senza che l'acido carbonico penetri con più facilità dell'ossigene.

Credo perciò che in questi fenomeni, oltre al baratto dei due gas, avvenga che l'acqua di cui è imbevuta la membrana si carichi d'acido carbonico, il quale esala poi nell'interno in presenza del gas ossigene.

Per spiegarsi come avviene, nell'esperienza del Marianini, la discesa della bolla, convien dire che l'aumento di volume dovuto all'acido carbonico che vi entra, non è cagione di aumento di peso perchè altrettanto ne perde per il soddetto aumento: rimane però in eccesso il maggior peso del velo d'acqua che si carica d'acido carbonico.

LEZIONE XXIII.

Assorbimento dei gas dai liquidi e dai solidi. — Azione del carbone sui gas. — Spugna di platino. — Accendilume con la spugna di platino — Equilibrio dei corpi immersi nei gas.

L'acqua e quasi tutti i liquidi allorchè trovansi a contatto dell'aria atmosferica o di un altro gas qualunque, ne assorbono una certa porzione. È quest'aria disciolta che respirano i pesci, è gas acido carbonico disciolto quello che costituisce le acque acidule gassose. L'assorbimento dei gas fatto dai liquidi si fa con leggi determinate, scoperte da Henry e Dalton. La prima legge è che *le quantità e i pesi di un dato gas sciolti da un dato liquido sotto diverse pressioni, sono porporzionali a queste pressioni*. S'abbia, ad esempio, dell'acido carbonico a contatto dell'acqua: dopo un certo tempo l'acqua ne sarà satura, avendo assorbito un volume d'acido carbonico eguale al suo. Se avessimo supposto che l'acqua fosse stata a contatto di un'atmosfera di acido carbonico d'una densità doppia della prima, e quindi sotto una doppia pressione, l'acqua anche in questo caso avrebbe assorbito un volume di acido carbonico eguale al suo, ma la quantità sarebbe stata doppia dell'altra. Se l'atmosfera di acido carbonico fosse stata dieci volte più densa, l'acqua avrebbe ancora assorbito un volume di gas eguale al suo, ma dieci volte più denso, e quindi una quantità dieci volte maggiore che nel primo caso. Raccogliendo in questi tre casi il gas disciolto, ciò che vedremo potersi far sempre, si troverebbe, che ridotto alle pressioni una, due e dieci, avrebbe occupato lo stesso volume, sempre eguale a quello dell'acqua in cui si era disciolto. Può questa legge rappresentarsi anche in altri termini, dicendo che il rapporto delle

densità del gas disciolto al gas non disciolto è costante qualunque sia la pressione. Prendasi un altro esempio: supponete ancora di sciogliere sotto la pressione atmosferica del gas acido solforoso nell' acqua. Allorchè l'acqua ne è satura, si trova coll' esperienza, che essa contiene 45 volte il suo volume di gas acido solforoso. Se noi ci rappresentiamo il gas disciolto come isolato dall' acqua, dovremo concludere che avrà nell' acqua una densità 45 volte maggiore di quella del gas libero. Il rapporto delle due densità del gas libero al gas disciolto è 1: 45. Qualunque sia la pressione sotto la quale il gas è sciolto, questo rapporto rimane costante.

Abbiamo supposto nell'esposizione di queste leggi, che fosse illimitata la quantità di gas di cui una parte si scioglieva nell'acqua: è chiaro che quando ciò non fosse, la quantità di gas assorbito farebbe diminuire la densità o pressione nel gas libero, e per cui la quantità disciolta sarebbe quella che appartiene alla pressione alla quale l'atmosfera gassosa si riduce dopo che è accaduto un certo assorbimento. Se si prenda un altro gas o un altro liquido, la quantità di gas disciolto è diversa per ognuno di questi, sempre però verificandosi la legge che abbiamo esposta per le pressioni.

È facile ora d'intendere ciò che deve accadere ad un gas disciolto nell' acqua, diminuendo la pressione sotto la quale la dissoluzione si è operata. Perchè un gas rimanga in dissoluzione, bisogna che resti sempre sottoposto alla pressione di un'atmosfera formata dallo stesso gas, e avente una pressione eguale a quella sotto la quale si è operata la dissoluzione. Diminuendo la pressione, il gas disciolto se ne anderà a mano a mano, e tanto da non esservene più affatto quando la pressione sarà zero: il volume del gas disciolto dovendo esser sempre proporzionale alla pressione, sarà zero quando la pressione sarà ridotta a zero.

È questo appunto è il fenomeno che vi presenta una dissoluzione nell'acqua di acido carbonico, fatta sotto pressioni assai forti. All'aprirsi della boccia il liquido esce con violenza e spumente, come fanno, per le stesse ragioni, il vino di Champagne e la birra. Lasciate la boccia per un poco di tempo all'aria, e non rimane sciolta che quella quantità di gas che assorbirebbe sotto la pressione di un'atmosfera. Dopo molto tempo finirebbe per perdere tutto intiero il gas acido carbonico, e in breve ne diremo la ragione; ma intanto vi farò osservare, che questa soluzione che non emette gas, almeno visibilmente, torna di nuovo a spumare se mettendola sotto la campana della macchina pneumatica diminuiremo la pressione. Distruggendo affatto la pressione, tutto il gas disciolto se ne anderà, sussistendo sempre, che a mano a mano che il gas si libera, sia per un mezzo qualunque dissipato. Se invece il liquido si trovasse in uno spazio vuoto limitato, lo sviluppo del gas cesserebbe allorquando l' atmosfera formata dal gas sviluppato avesse una forza elastica corrispondente a quella, sotto di cui può rimanere nel liquido le quantità di gas ancora disciolta.

Ma cosa accade allorchè invece di lasciare un liquido saturo o carico di una certa quantità di un gas a contatto di un' atmosfera dello stesso gas, o nel vuoto, si mette a contatto di un altro gas, o di un miscuglio di altri? La legge che risponde a questa questione, e che pure dobbiamo alle ricerche di Henry e Dalton, è la seguente: *la quantità di gas che un liquido può sciogliere è totalmente indipendente dalla natura, e dalla quantità degli altri gas che già trovansi disciolti.* In una parola, ogni gas opera in questo fenomeno come se fosse solo, qualunque sia il numero dei gas mescolati che formano l'atmosfera sotto la quale il gas si trova: basterà di tener conto in ogni caso della pressione propria a ciascuno di loro. Così l'acqua a contatto coll' aria atmosferica, che sapete essere composta di quattro parti d'azoto e di una d'ossigeno, assorbe sotto la pressione ordinaria dell'aria atmosferica p, una quantità d'azoto, come se fosse sottoposta ad un'atmosfera indefiolta di questo solo gas alla pressione $4/5\ p$, e assorbe una quantità d'ossigene come se tutta l' atmosfera fosse di questo solo gas alla pressione $1/5\ p$. Posson dedursi da questa teoria delle conseguenze che l'esperienza conferma. So si metta un liquido saturo di un gas a contatto di un'atmosfera indefinita di un altro gas, il primo contenuto nel liquido si disperderà nell' atmosfera dell' altro che abbiam supposta incomparabilmente più grande della sua. Se invece l'atmosfera del nuovo gas è limitata, il gas disciolto non potrà escirne che in parte, e nel tempo stesso il liquido assorbirà una porzione dell'altro gas. Ecco perchè non può lungamente conservarsi il gas idrogeno raccolto in una campana sopra l'acqua: una porzione di questo gas è assorbita dal liquido, ne esce per conseguenza, e si mescole al gas idrogeno una parte dell'ossigeno e dell'azoto che erano disciolti.

Approfittando dei principi che abbiamo esposto sull'assorbimento dei gas, Magnus ha ottenuto l'acido carbonico e gli altri gas disciolti nel sangue, e ne ha misurate le quantità. Magnus per mezzo di un tubo fa andare il sangue che esce dalla vena in una

specie di barometro troncato: i gas contenuti nel sangue si svolgono, e son raccolti ed analizzati. Una corrente di gas idrogene a traverso allo stesso liquido può anche servire per liberare i gas disciolti.

Anche i corpi solidi hanno in diverso grado la proprietà di assorbire i gas, senza che avvenga fra loro nessuna combinazione chimica. Fontane il primo rimarcò questa proprietà nel carbone, che in seguito Saussure ed altri estesero a tutti i corpi porosi. Varia quest'assorbimento secondo le natura del gas, e quella del corpo assorbente: ve n'hanno alcuni che sono assorbiti dal carbone in grandissima quantità, come il gas ammoniaco, l'acido solforoso; ed altri che appena lo sono, come il gas idrogene e il gas azoto. Il carbone di bosso possiede la proprietà assorbente nel più alto grado, e può dirsi che sino ad un certo limite l'assorbimento del gas è tanto più grande quanto più il carbone è denso. Cresce ancora questo assorbimento colla pressione, e diminuisce al crescere della temperatura. In generale riscaldato il corpo solido che ha assorbito il gas, lo perde intieramente. Si ottiene perciò il massimo assorbimento riscaldando prima fortemente il corpo, onde perda tutto il gas che può avere assorbito, e così riscaldato s'immerge nel mercurio per poi portarlo a contatto di quel gas per cui si vuol determinare l'assorbimento. Darò qui alcuni numeri che misurano, secondo le ricerche di Saussure, il grado d'assorbimento del carbone di bosso per diversi gas. Una misura di carbone di bosso assorbe

90 misure di gas ammoniaco,
85 di gas acido idroclorico,
65 di acido solforoso,
35 d'idrogene solforato,
35 di acido carbonico,
9, 25 d'ossigene,
7, 50 d'azoto,
1, 75 d'idrogene.

Quando il corpo poroso sia decomponibile col calore, nel qual caso non può riscaldarsi per renderlo capace del maggiore assorbimento, si sottopone per lungo tempo al vuoto della macchina pneumatica.

Doebereiner ha scoperto molto tempo dopo elle esperienze di Fontana sul carbone, un caso assai importante di questo assorbimento dei gas dai corpi solidi ridotti in uno stato di grande *divisione* e porosità. Il platino e l'iridio ridotti con un processo chimico, che io non devo descrivervi, allo stato *spugnoso*, assorbono delle quantità enormi di gas. La spugna di platino assorbe oltre 200 volte il suo volume di ossigene, o non avviene fra questo gas e il platino alcuna combinazione, giacchè ad un debolo calore perde il platino tutto il gas che ha assorbito. Tal fenomeno apparisce tanto più notabile se si considera a quanta pressione equivale l'effetto di questo assorbimento, dovendo ridurre il volume del gas assorbito ad 1/200 del suo volume primitivo. Thenard e Dulong hanno esteso a molti altri corpi lo studio di queste singolari proprietà mostrando come potesse servire a promuovere la combinazione delle sostanze allo stato gassoso. È evidente che messa la spugna di platino a contatto di vari corpi gassosi che può assorbire, si avrà così un mezzo potentissimo per fare sparire la forza ripulsiva che s'opponeva alla loro combinazione. L'ossigene e il gas idrogene a contatto della spugna di platino si convertono immediatamente in acqua. Kulmen ha ottenuto ultimamente, servendosi di questo mezzo, la combinazione del gas ossigene e dell'azoto, dell'idrogene e dell'azoto, producendo l'acido nitrico e l'ammoniaca. E poichè questa proprietà di assorbire i gas e di favorire la loro combinazione appartiene, benchè in un grado diverso, a tutti i corpi porosi, è probabile che sia questa una delle prime cagioni per cui si forma l'acido nitrico, e quindi il nitro comune nei muri e in certe terre. Faraday ha aggiunto, che senza rendere spugnoso il platino, bastava che la superficie di questo metallo fosse ben netta, perchè la combinazione dei due gas, ossigene e idrogene, avesse luogo. Anche in questo caso non è di certo un'azione chimica del platino sui due gas quella che ne determina la combinazione. Deve ammettersi che in generale la superficie di un corpo solido immerso in un'atmosfera gassosa su cui non esercita azion chimica, può nullameno modificare la condizione del gas al suo contatto. Accade in questo caso quello che abbiam visto accadere per le molecole della superficie di una massa liquida. Le molecole del gas al contatto della superficie del solido non soffrono l'azione ripulsiva delle molecole gassose di cui il solido occupa il posto. Rimane sola, e senza essere distrutta per conseguenza, l'azione ripulsiva delle altre molecole del secondo strato, la quale deve convertirsi in una specie di pressione delle molecole del primo strato contro il corpo solido, e può così distruggere o modificare in quel punto la ripulsione reciproca fra le sue parti.

Una conseguenza necessaria di questo assorbimento è il grande sviluppo di calore che immediatamente ne succede: noi vedremo più innanzi che non accade mai condensazione, passaggio di un corpo dallo stato gassoso al liquido o dal liquido al solido, senza che si sviluppi calore; perciò è che la spugna di platino nell'assorbimento dei gas

ossigene, idrogene ec. si rende incandescente, e in questo stato ridotta, divien capace di accendere i corpi combustibili. Fate l'esperienza coll'ossigene e coll'idrogene, e vedrete quest'ultimo gas accendersi a contatto della spugna di platino fatta rossa, e produrre acqua colla loro combinazione. La scoperta di Doebereiner venne così applicata alla costruzione di un accendilume a gas idrogene. Un getto di questo gas preparato nel modo ordinario, può a volontà essere spinto contro la spugna di platino, e in questo caso ne avviene l'accensione.

Anche il carbone ridotto in polvere estremamente fina assorbe il gas ossigene dell'atmosfera in tanta quantità da sviluppar calore, e da mettersi in combustione. Non è raro questo funesto accidente nelle polveriere, in cui il carbone è ridotto allo stato di polvere finissima. A questa stessa cagione deve attribuirsi la combustione rapidissima, e senza aggiunta di calore, che si osserva in molti metalli ridotti ad un grande stato di divisione.

Dalla facoltà del carbone di assorbire i gas si è cavato profitto per disinfettare le acque cariche di gas insalubri, e per conservare le sostanze organiche. Gettate dei carboni ardenti in un'acqua in cui siavi stato qualche corpo in putrefazione, ed all'istante otterrete la scomparsa di quei gas che la rendevano fetida ed insalubre. Coprite con uno strato di carbone di recente calcinato e ridotto in polvere fina, un pezzo di carne che cominci a putrefarsi, e cesserà il cattivo odore che prima se ne aveva, ed anche la putrefazione sarà arrestata.

A questa proprietà dei solidi di assorbire più o meno bene i corpi gassosi, si deve, in gran parte, le fertilità più o meno grande dei terreni. Si sa oggi che i soli corpi gassosi alimentano i vegetabili, e la proprietà dei terreni di assorbire e di ritenere i gas dipende dalla natura fisica, piuttosto che dalle loro composizione chimica.

Termineremo di parlare dell'equilibrio dei fluidi elastici esponendo la teoria dei corpi immersi nei gas. Allorchè un corpo è immerso nell'aria, tende a cadere con una forza eguale al suo peso ed è spinto in senso contrario con una forza eguale al peso dell'aria che sposta: dal che risulta, che è in equilibrio se il suo peso è eguale a quello del volume di aria che sposta, cade se pesa di più, e si solleva se pesa meno. È questo il principio d'Archimede, di cui a luogo abbiamo parlato nell'idrostatica. Noi potremo rendercene conto nel caso dell'aria e di tutti i gas, con quelle stesse considerazioni che abbiamo fatte parlando dei liquidi. Un gas qualunque pesa, e preme perciò col suo peso sugli strati sottoposti; per la sua costituzione le pressioni si distribuiscono, come nei liquidi, in tutti i sensi. Viene da ciò che una porzione qualunque di una massa gassosa è in equilibrio allorchè il suo peso è vinto dalle pressioni di basso in alto che vi esercita contro il rimanente della massa gassosa. Se un corpo solido prende il posto di questa porzione della massa gassosa, la pressione di prima seguiterà ad esercitarsi contro lui e di basso in alto, equivalendo perciò al peso del gas di cui occupa il posto: e questa è la porzione del peso perduto dal solido. Può dimostrarsi facilmente coll'esperienza questa perdite di peso dei corpi immersi nell'aria o in un gas qualunque. Si metta sotto la campana della macchina pneumatica una piccola bilancia che ha appese al due bracci (*Fig.* 67) due palle A e B, di un diametro ben diverso, e messe in equilibrio: una ordinariamente è vuota, e l'altra è piena, e più piccola per conseguenza di diametro. Allorchè si fa il vuoto, l'equilibrio non esiste più, e la bilancia trabocca dal lato della palla più grande. Non può essere altrimenti, giacchè ambedue perdono una porzione diversa del loro peso per l'immersione nell'aria, e più ne perde quella che è maggiore di diametro. È pur per questa ragione che si rende impossibile di ottenere il peso dell'aria empiendone una vescica: infatti allorchè la vescica è piena, il suo peso è eguale a quello dell'inviluppo più il peso dell'aria contenuta nella vescica, diminuito del peso del volume d'aria spostato. E poichè l'aria ha fuori e dentro la stessa densità, il peso dell'aria contenuta sarà sempre eguale al peso perduto, che è quello del volume d'aria che sposta.

Avvi dunque una correzione bene importante e farsi allorchè si determina il peso assoluto di un corpo e la sua densità, quella cioè che si riferisce al peso del volume di aria che è spostato dal corpo che si pesa. Questa correzione è tanto più necessaria, quanto più è maggiore la differenza fra le densità del corpo e quella dell'acqua. Se supponiamo di prendere due corpi, uno dei quali sia cinque o sei volte più denso dell'altro, le porzione di peso che questi due corpi perderanno nell'aria sarà ben diversa. Noi non abbiamo, onde far queste correzioni, che a determinare il volume del corpo pesato, e questo ci è sempre dato dalla differenza del peso del corpo nell'acqua e nell'aria. Sia P il peso del corpo nell'aria, e p il suo peso nell'acqua, $P-p$ è il peso del volume d'acqua eguale al suo, che facilmente possiam ridurre in volume.

Se il volume d' acqua che il corpo sposta pesa un grammo, siam sicuri che il suo volume è il volume di quest' acqua, e che perciò è d' un centimetro cubico. Potremo dedurre facilmente il peso del volume d' aria eguale a quello del corpo e dell'aria spostata, conoscendo la densità dell'aria, che si sa essere 770 volte più leggiera dell'acqua. Moltiplicando $P - p$ ridotto in centimetri cubi per $1/770$, si ha evidentemente il peso del volume d' aria spostato dal corpo. Nel determinare la densità, bisognerà fare questa correzione anche per l' acqua; e se $P + (P - p)\ 1/770$ è il peso del corpo ridotto a quello che sarebbe nel vuoto, $P - p + (P - p)\ 1/770$ è il peso del volume di acqua eguale a quello del corpo e ridotto egualmente al suo peso nel vuoto. Si avrà perciò la densità di un corpo, tenuta a calcolo la correzione suddetta, dividendo i due pesi del corpo e dell' egual volume d'acqua ridotti nel modo che abbiam detto.

Allorchè consideriamo un corpo immerso nell' atmosfera in cui l' aria è diversamente densa alle diverse altezze, se il suo volume è costante, il suo equilibrio sarà stabile relativamente alla sua distanza dalla terra: difatto sollevandosi, si trova portato in mezzo ad un gas meno denso per cui divien minore il peso del fluido spostato; ricade perciò nella sua prima posizione. Il contrario accade se si considera portato negli strati inferiori, e quindi più densi dell' atmosfera. Non è più così se il corpo immerso può cambiar di volume, e se si considera fatto di un inviluppo pieno di un gas. Il principio della costruzione dei globi areostatici è quello di un corpo di cui il peso è minore di quello del volume d' aria che sposta, e di cui il volume si dilata salendo negli strati più alti dell' atmosfera. I fratelli Mongolfier adoperarono i primi l' aria dilatata dal calore per empirne un inviluppo di forma sferoidale fatto di carta. Vedremo nel trattato del Calore, che l' aria dilatata alla temperatura dell'acqua bollente ha perduto circa un quarto del peso che ha alla temperatura ordinaria. Il celebre Charles immaginò il primo di sostituire all' aria dilatata col calore il gas idrogene che è oltre 14 volte più leggiero dell'aria. Così mentre mille metri cubi d'aria sulla superficie della terra pesano 1299 chilogrammi, mille metri cubi di gas idrogene non ne pesano che 89 circa. La differenza di questi due pesi è evidentemente il peso che un globo di mille metri cubi d' idrogene può sollevare. Il pallone che Charles fece costruire aveva 500 metri cubi di volume, e poteva perciò sollevare un peso di circa 600 chilogrammi.

Si carica il pallone in modo da potersi sollevare, prima che sia interamente pieno di gas idrogene; allora a mano a mano che sale, il gas si dilata e gonfia l'inviluppo trovandosi in mezzo a strati di aria meno densa, e meno elastica per conseguenza; spostando più aria perderebbe maggior peso se l'aria avesse una densità costante; ma una tal densità diminuisce corrispondentemente all'aumento di volume del pallone, ed è questa la ragione perchè conserva costante la sua forza ascensionale, fino a tanto che non è completamente pieno. Allora solo cessa di esser costante questa forza, e comincia a diminuire a mano a mano che sale. Nel primo istante il pallone s' innalza con un moto accelerato, ma poco dopo la resistenza dell' aria riduce questo moto uniforme.

L' inviluppo dei globi areostatici è ordinariamente di seta coperta di una vernice di gomma elastica. L'emisfero superiore è contenuto in una rete di seta di cui i fili riuniti discendono a sostenere la galleria che porta i viaggiatori. In questo stesso emisfero è una valvula chiusa costantemente da una molla che può aprirsi per mezzo d' una corda scendente nella navicella. Quando si voglia aumentare la forza ascensionale del pallone, se ne diminuisce il peso gettando porzione della zavorra che si è portata nella galleria: basterà per diminuirla aprire la valvula, e diminuire così il volume del pallone, lasciando uscire una porzione del gas.

Mongolfier immaginò il *paracadute*, che è una specie d' ombrello di cui la circonferenza è fissata con corde alla navicella. Quando tagliate le corde che uniscono la galleria al pallone, queste cade, il paracadute si apre, e per la resistenza che è opposta dall'aria si rallenta la caduta, la quale sarebbe altrimenti troppo rapida e pericolosa.

I viaggi areostatici i più importanti sono quelli di Biot e Gay-Lussac, e di Gay-Lussac solo, che salì a 7000 metri al disopra del livello del mare. Il Green è salito in questi ultimi tempi ad altezze maggiori. Avremo occasione in diverse circostanze di parlare dei risultati importanti di questi viaggi, e già parlando della composizione costante dell' aria atmosferica, abbiam detto che Gay-Lussac nel suo viaggio ottenne questo risultato per l'aria presa negli strati altissimi in cui si sollevò.

LEZIONE XXIV.

Movimento dei gas.—Gasometro.—Principio di reazione nei gas.—Sviluppo delle pressioni laterali nello scolo dei gas.—Fucile pneumatico.—Sifone.—Macchina pneumatica.—Trombe ec. ec.

I gas escono come i liquidi dagli orifizi fatti nelle pareti dei recipienti in cui son contenuti. Diverse cause mettono i gas in movimento. Riduconsi queste principalmente 1.° all'azione del calore, 2.° al movimento dei corpi solidi o liquidi che loro trasmettono una parte della loro velocità, 3.° in fine alla loro propria elasticità allorchè si fanno escire nel vuoto, o in generale in un mezzo gassoso che abbia minore elasticità.

Parleremo più innanzi dei movimenti prodotti dal calore. Il ventaglio è la macchina più semplice che ci dia un'idea del movimento comunicato ai gas dai corpi solidi. Tutti i ventilatori di forme tanto diverse destinati a spignere una corrente di aria onde separare i corpi d'un certo peso dalla polvere leggiera con cui sono mescolati, non sono che macchine di questo genere. Il più comune di questi è il ventilatore a forza centrifuga, che si compone di un tamburo di legno che ha vari fori presso al centro, e ne ha altri alla circonferenza. L'asse del tamburo porta nell'interno di questo quattro ale, che col loro moto di rotazione ne imprimono uno eguale all'aria. La forza centrifuga prodotta da questo moto, obbliga l'aria a fuggire per i fori della circonferenza, e intanto altra se ne introduce dall'esterno pei fori che sono al centro. Un tal ventilatore può a volontà servire a spingere una corrente d'aria, o a chiamarne da un dato luogo, quando con questo si mettano in comunicazione i fori centrali. Si usa anche nei grandi forni fusori per procurarsi una corrente d'aria necessaria ad alimentare la combustione, una caduta d'acqua nell'interno di un tubo, che comunica con una cassa inferiore dalla quale scola l'acqua e da cui è spinta fuori la corrente dell'aria. Vi sono fori nel tubo per cui cade l'acqua dai quali entra l'aria aspirata continuamente dall'esterno, in seguito del movimento comunicato dall'acqua all'aria del tubo.

Allorchè un gas è compresso, esce da un'apertura qualunque fatta nel recipiente in cui è contenuto, con una velocità dipendente dalla differenza delle pressioni interna ed esterna, e dalla sua densità. Si calcola cotesta velocità considerando il gas come un liquido della sua stessa densità, sottoposto ad una pressione eguale a quella che risulta dalla sua forza elastica, diminuita di quella del mezzo in cui esce. Per avere questa velocità basta trovare l'altezza di una colonna liquida densa come il gas, e di cui il peso sia eguale alla pressione che produce lo scolo: la velocità cercata sarà eguale a quella che acquisterebbe un corpo, cadendo nel vuoto da quell'altezza. È in somma il teorema di Torricelli applicato da Daniele Bernoulli allo scolo dei gas. Navier partendo da una teoria ben diversa da quella del Bernoulli, è giunto tuttavia ad una formola che dà risultati poco diversi da quelli dedotti da Bernoulli, almeno per quei casi in cui la pressione del gas che esce, non differisce molto dalla pressione del mezzo in cui entra. In generale queste formole non si applicano che nel caso di un orifizio estremamente piccolo, rispetto alla sezione del recipiente in cui è contenuto il gas.

Si supponga di voler determinare teoricamente quale, sotto la pressione ordinaria, è la velocità dell'aria che entra in uno spazio vuoto. Poichè questa pressione equivale al peso di una colonna d'acqua alta $10m,33$, e poichè la densità dell'aria è 0,0013 di quella dell'acqua, ne viene che la colonna d'aria equivalente in peso a 76 centimetri di mercurio, sarà data dalla proporzione

$$0,0013 : 1 :: 10m,33 : x = \frac{10m,33}{0,0013},$$

cioè a 7946 metri. Un corpo cadendo da quest'altezza acquisterebbe una velocità di $394m,81$ per secondo; e questa si è la velocità teorica, con cui l'aria sotto la pressione ordinaria entra nel vuoto.

Risultano da questi principî due conseguenze importanti.

1.° La velocità con cui un gas esce nel vuoto è costante, qualunque sia la sua pressione. Infatti le altezze delle colonne fluide aventi la stessa densità del gas che scola, e di cui il peso rappresenta sempre la pressione del gas, diminuiscono per la diminuzione di questa pressione, nella stessa ragione con cui crescono per la minore densità a cui si riduce il gas che esce. Rimangono per conseguenza costanti per ogni momento dello scolo, e lo sono qualunque sia la densità originaria del gas. Non è però costante la quantità di gas che esce, la quale

è evidentemente proporzionale alla densità del gas, è per conseguenza alla pressione. Allorchè il gas esce in un altro gas, la velocità del suo scolo non è più costante; l'altezza della colonna rappresentante la velocità è proporzionale alla differenza di forza elastica dei gas interno ed esterno, ed è in ragione inversa della densità del gas che esce: questa densità è proporzionale alla pressione totale che prova il gas.

2.ª Le velocità con cui scolano i diversi gas nel vuoto, sono in ragione inversa delle radici quadrate delle loro densità, giacchè le altezze rappresentanti le velocità sono in ragione inversa delle densità, e le velocità proporzionali alle radici quadrate di queste altezze.

Onde verificare questi risultati coll'esperienza, si è costruito un apparecchio che serve a misurare la quantità del gas escito in un dato tempo sotto una data pressione. Consiste quest'apparecchio in una campana cilindrica posta sull'acqua, e sostenuta da una corda avvolta intorno ad una carrucola, la quale sostiene all'estremità inferiore un peso eguale a quello della campana. Caricando di un eccesso di peso la campana o togliendone all'altra estremità della corda, si ottiene lo scolo del gas sotto pressioni diverse misurate da un manometro unito alla campana. I fori dai quali il gas esce, e che si variano nelle diverse esperienze, sono praticati in lastre mobili fissate con viti sull'alto della campana. In tutti i casi, conosciuto il volume della campana, si determina quello del gas escito in un dato tempo, misurando di quanto il *gazometro* è disceso durante lo scolo del gas. Dividendo il volume del gas escito in un secondo per la sezione dell'orifizio, si ha in questo caso, come si aveva pei liquidi, la velocità dello scolo del gas. Dauhuisson ha riconosciuto con un gran numero di esperienze che la velocità dei gas dedotta dalle formole di Navier, non s'accorda con quella ottenuta per mezzo dell'esperienza deducendola dalla quantità di gas escita in un dato tempo. Se n'è quindi concluso per l'analogia coi liquidi, che debba accadere anche nei gas la contrazione della vena, e che per ottenere la quantità di gas escito o la *portata* reale, bisogna moltiplicare la portata data dalla teoria per 0,65 se l'orifizio è fatto in una parete sottile, e per 0,93 se l'orifizio è terminato da un tubo aggiunto assai corto. In tutti i casi la velocità del gas per la sezione contratta della vena, come per la sezione dell'orifizio, corrisponde con quella data dalla teoria.

Allorchè un gas scola per lunghi tubi, la velocità è molto più piccola, che non è allorquando lo scolo ha luogo da orifizi fatti in pareti sottili, e tanto più quanto più i tubi son lunghi e piccolo il loro diametro, o quanto più è grande la velocità dello scolo. Allorchè vuolsi ottenere con precisione l'escita costante di un gas, si ricorre allo scolo costante di un liquido. Il liquido escito che si raccoglie in un recipiente, discaccia da questo una quantità d'aria eguale in ogni istante al suo volume; per cui se questo getto liquido è costante, lo sarà pure quello dell'aria discacciata dal liquido. Se in luogo d'aria si vuol fare escire un altro gas, si raccoglie in una vescica, e si dispone in un secondo recipiente nel quale entra l'aria discacciata dal liquido: la pressione costante cui è sottoposta la vescica, fa escire una quantità costante di gas.

I grandi *gazometri* in cui si raccoglie il gas per l'illuminazione delle città sono costruiti come quello descritto. Consistono essi in una grande campana di lamine di metallo rovesciata sopra una cisterna piena d'acqua. La campana è sostenuta da una catena che passa sopra due pulegge, e che porta all'altra estremità contrappesi destinati a sostener la campana. Dal fondo della cisterna s'innalzano due tubi forniti di *robinet*, i quali terminano al disopra del liquido: serve uno di questi a portare il gas nella campana dalle storte entro cui si sviluppa, o l'altro, di cui il *robinet* si apre mentre il primo si chiude, lascia passare il gas nei tubi con cui comunica. A mano a mano che il gas s'introduce, la campana si solleva, e, empita questa, se ne fa escire il gas diminuendo i contrappesi. Il gas esce per effetto della pressione dovuta alla differenza fra il peso della campana e quello del contrappeso, differenza che è misurata dall'altezza del livello esterno del liquido sul livello interno della campana. Lo scolo del gas sarà costante, non essendo che piccola la diminuzione di peso sofferto dalla campana nell'immergersi, ed agendo in senso contrario di questa perdita l'aumento della catena discesa, e la diminuzione di quella che porta i contrappesi, e che è salita per conseguenza. Del resto è facile di calcolare il peso della catena in modo, che questi effetti si compensino.

In questa guisa è disposto un gazometro che serve ad illuminare gran parte di Parigi: ha cento piedi di diametro, e cinquanta di altezza.

Le pressioni che si producono contro le pareti di un vaso pieno di un gas qualunque, si distroggono mutuamente quando il gas non esce, e non possono imprimere alcun movimento al vaso. Non è più così quando avvien lo scolo da un orifizio: la

pressione opposta alla direzione dello scolo non è più distrutta dalla resistenza della parete soppressa, ossia dalla pressione che esercita il gas contro quei punti della parete da cui scola; il vaso è perciò necessariamente trasportato in senso contrario a quello dello scolo. Può facilmente mostrarsi questo principio per mezzo di una vescica unita ad un *robinet* terminato con un tubo mobile intorno al suo asse, il quale riceve il gas per il suo centro, e lo lascia scolare da due orifizi laterali opposti. Premendo la vescica ed obbligando il gas ad escire con violenza, si vede il pezzo mobile rotare nel senso contrario di quello dello scolo.

Devesi a questo principio della reazione nell'escita dei gas che avviene, come si è visto nei liquidi, quell'urto che provano il cannone e tutte le armi da fuoco, al momento in cui s'infiamma la polvere e che il proiettile esce. Quest'urto che respinge in addietro il cannone e il fucile, è tanto più piccolo quanto più è grande il rapporto della massa del cannone a quella del proiettile: d'altronde gli attriti e le resistenze d'ogni genere distruggon presto questo movimento. L'ascensione dei razzi che ha luogo in senso contrario all'escita del gas sviluppato dalla combustione della polvere, è prodotta in questo stesso modo.

Con questi principi si vollero ancora spiegare i movimenti di rotazione sull'acqua dei pezzetti di canfora, di potassio che scompone l'acqua ed accende l'idrogene, dei corpicciuoli inzuppati d'etere ec. Tutti questi fenomeni hanno probabilmente una causa comune, ed è importante l'osservazione fatta da Dutrochet dei movimenti che avvengono nell'acqua allorchè questi corpi, canfora ed altri, si tengono fissi nel liquido. Come questi appena toccano la superficie dell'acqua vi si muovono sopra con una grande rapidità e in tutti i sensi; così immerso un pezzo di canfora e tenutovi fermo, l'acqua vi corre contro, e poi ne è respinta per tutte le parti.

La relazione fra questi fenomeni e il principio di reazione dei gas mi sembra così poco accettabile, quanto quella colle forze elettriche che il Dutrochet mette in campo. Dobbiamo confessare che ancora ignoriamo la cagione di tali fenomeni, i quali sembrano dipendere da quello stesso principio per cui gli olii si stendono sopra l'acqua respingendola circolarmente, mentre in altri casi il movimento avviene in direzione contraria.

Dutrochet ha chiamato forza *epipolica* la cagione di tali fenomeni: crediamo di dover attendere ancora, prima di ammetterla, che sia ben dimostrato che non possano collegarsi a quelli della capillarità e dell'adesione.

Allorchè i gas escono per un foro di un recipiente fatto in una superficie piana e sotto una forte pressione, producesi un fenomeno assai singolare che Griffith ha osservato il primo. Se si avvicina un disco di legno, di metallo o d'altro, al getto del gas compresso e ad una distanza assai piccola, vedesi il disco spinto come per attrazione verso l'orifizio, ed ivi ritenuto. L'aria seguita ad escire fra il disco e la parete, e si prova un grande sforzo a voler ritirare il disco da questa posizione. Potete ripetere questa osservazione con un apparecchio assai semplice: mettete un cono di carta all'estremità del tubo di un soffietto, e vedrete, soffiando, comprimersi il cono, stringersi addosso alla corrente d'aria che esce, come compresso da una pressione esteriore. V'è anche un altro modo più semplice per ripetere questa esperienza: applicate un pezzo di carta sopra le dita d'una mano tenute vicine fra di loro; voltate la mano, e reggete la carta coll'altra mano: soffiando allora colla bocca tra le dita, vedrete il foglio non cadere tolta la mano che lo reggeva, e cadere poi al momento che cesserete di soffiare. Questo fenomeno producesi anche nello scolo dei liquidi, e Venturi l'ha dimostrato con un tubo conico aggiunto voltato esternamente coll'orifizio più largo. Bernouilli ha dato la teoria di questi fenomeni. Allorchè un liquido scola per un tubo cilindrico la pressione sopra un punto qualunque del tubo esercitata normalmente alla sua superficie, è dovuta, indipendentemente dal peso dello strato liquido che lo tocca o dalla pressione dell'aria, all'altezza del liquido al disopra del centro della sezione corrispondente, diminuita dell'altezza del liquido che produrrebbe la velocità realmente esistente nel punto che si considera; in altre parole la pressione è eguale alla differenza delle altezze corrispondenti alla carica e alla velocità reale. Sia A' l'altezza della colonna liquida alla quale secondo il teorema di Torricelli sarebbe dovuta la velocità che ha nella sezione perpendicolare all'asse del tubo e per la quale si vuol calcolare la pressione; A l'altezza della colonna liquida che produrrebbe questa stessa velocità supponendo tagliato il tubo in quel punto, in modo che questa sezione fosse l'orifizio dello scolo: la pressione contro le pareti del tubo si esprime con la formola $A - A'$. Questo valore di A non è sempre eguale all'altezza reale del livello al disopra del centro della sezione; può esserne un poco più piccolo per l'effetto della contrazione e dell'attrito ec., e un poco più grande per l'in-

fluenza dei tubi. Se A = A' la pressione è nulla, e le pareti non soffrono alcuno sforzo; se A' è più grande di A la pressione A — A' ha un valor negativo, o, ciò che torna lo stesso, in luogo di una pressione v'è un' *aspirazione*, una pressione in senso contrario. Nel tubo a doppio cono in cui la portata, e quindi la velocità effettiva è più grande della teoretica, l'aspirazione si osserva assai facilmente per mezzo di un tubo che si fa sboccare nel tubo aggiunto da una parte, e pescare nell' acqua dall' altra. Quando ha luogo il fenomeno dell' aspirazione l'acqua si solleva, e si ha la misura di questa forza dall' altezza della colonna sollevata.

Ci rimane ancora a mostrare come debba tenersi conto della pressione dell' atmosfera sullo scolo dei liquidi, e a descrivere le macchine e gli apparecchi più importanti che agiscono fondandosi sulle proprietà del gas.

Allorchè si è parlato dello scolo dei liquidi, abbiamo supposto che tutto si riducesse alla pressione della colonna liquida, e quindi all' altezza della sua superficie di livello sul foro. Ma l'atmosfera preme sulla superficie del liquido, e preme pure sul liquido che esce dal foro, ed è di queste pressioni che noi dobbiamo ora valutare l'effetto. Poichè questa pressione equivale al peso di una colonna d' acqua alta 32 piedi, è certo che fatto un foro nel fondo di un vaso di cui l'altezza non superi 32 piedi e che sia esattamente chiuso in alto, non potrà il liquido escirne se l'aria non vi s'introduce a prendere il posto del liquido che scola. Provate ad immergere in un liquido un tubo aperto in alto, e di cui l' orifizio inferiore non sia molto largo, e potrete sollevarlo pieno di liquido se terrete chiuso l'orifizio superiore: aprite quest' orifizio, fate in somma che l'atmosfera prema egualmente su i due fori, superiore ed inferiore, ed il liquido scolerà come se non esistesse affatto questa pressione. È necessario che il foro inferiore non sia molto largo, senza di che la colonna liquida *si divida*, e l'acqua scende perchè l'aria s'introduce nel suo posto. Lo stesso v'accadrà prendendo un recipiente cilindrico chiuso da una parte, come un bicchiere o una campana qualunque. Empitelo d' acqua, applicate una carta sull'orifizio a contatto del liquido, e potrete rovesciarlo impunemente senza che n'esca del liquido; è chiaro che colla carta non s'impedisce altro che la divisione della colonna, ossia all' aria d' entrare.

Può regolarsi la pressione dell' atmosfera in modo da ottenere uno scolo costante di liquido. Questo apparecchio è conosciuto sotto il nome di *vaso di Mariotte*. Consiste in un vaso pieno d' acqua e che ha un' apertura laterale verso il basso: un tubo traversa l' orifizio superiore del vaso, ed è esattamente chiuso in modo, che l' aria non possa introdursi nel vaso se non che per il tubo. Supponete che questo tubo aperto alle due estremità, sia coll' inferiore a contatto di uno strato di liquido superiore al livello del foro laterale; è chiaro che il liquido potrà escirne con una velocità dovuta all' altezza della colonna liquida compresa fra il foro laterale e l' orifizio inferiore del tubo. Se questo orifizio fosse stato al livello stesso del foro laterale o al disotto, il tubo non avrebbe fatto che votarsi, cessando poi ogni scolo, per essere eguale o maggiore la pressione che tende ad impedire lo scolo, sopra quella che tende a produrlo. La velocità dello scolo è costante allorchè il tubo è a contatto colla sua estremità inferiore di uno strato superiore all' orifizio del foro, perchè è dovuta ad un' altezza costante, che è la differenza di livello fra l' orifizio e il foro: lo scolo perciò rimane costante sinchè il liquido è tanto disceso da non esser il tubo più immerso.

V' è un istrumento assai semplice ed importante, fondato in gran parte sull' influenza della pressione atmosferica nella pressione dei liquidi, e consiste in un tubo ricurvo di vetro, di metallo o di legno, che serve ad estrarre il liquido da un vaso, senza esser costretti di forarlo inferiormente. È questo il *sifone*, tanto usato generalmente. Sia A il vaso (*Fig.* 60) ripieno del liquido che si vuol votare, e A B C D il tubo ricurvo o sifone. Si comincia dall' empiere questo tubo di acqua, ciò che può farsi in diverse maniere, poi si rovescia immergendolo col suo braccio più corto nel liquido. Comincia immediatamente a scolare, e non cessa lo scolo che allorquando il liquido del vaso è disceso sino all' estremità A del braccio corto. Di un tal effetto del sifone conviene ora darne la teoria. Le forze che agiscono sul liquido alle due estremità del tubo, sono da una parte la pressione dell' atmosfera che tende a far salire l' acqua nel tubo A B, e contro la quale preme col suo peso la colonna liquida contenuta in questo tubo. Se s' immagina un piano mobile all' estremità A, soffrirà questo piano la pressione P — *a*, chiamando P la pressione atmosferica e *a* il peso della colonna liquida nel braccio corto A B. All' altra estremità D noi abbiamo pure la pressione dell' atmosfera che tende a tener sollevata la colonna C D e più il peso di questa stessa colonna che chiameremo A', e che agisce in senso contrario della pressione atmosferica. Supposto un altro piano mobile in D, P — A sarà la pressione che soffre. P — *a* e P — A sono le due forze che agi-

scono alle due estremità del sifone; e poichè queste due forze sono diverse, il liquido si moverà spinto dalla maggiore, e colla differenza di queste. A è maggiore di a, e quindi P — A è minore di P — a. Sottraendo P — A da P — a, ci rimane A — a, che è l'eccesso di pressione, colla quale accade lo scolo dal braccio più lungo C D. Chiaro è così, che questo eccesso di pressione è la differenza del peso delle due colonne; la velocità con cui accade lo scolo è dovuta dunque all'altezza A' D. A misura che lo scolo si fa, s'abbassa il liquido nel vaso, diminuisce la differenza di livello fra le due colonne, e quindi la velocità dello scolo va costantemente diminuendo. È inutile che io aggiunga che il sifone non potrebbe applicarsi quando il suo braccio corto avesse una lunghezza maggiore di 10 metri; posciachè il sifone farebbe da barometro, cioè a dire le due colonne si separerebbero, e lo scolo non potrebbe aver luogo: per la stessa ragione non può sollevarsi il mercurio con un sifone, di cui il braccio più corto superi 76 centimetri.

Si danno al sifone diverse forme, secondo i diversi usi a cui s'applica, e il più comunemente si usa d'aggiungere al tubo lungo C D un altro tubo aperto in alto. Aspirando l'aria colla bocca da quest'tubo, o all'estremità D, il liquido si solleva pei principi già esposti allorchè parlammo del barometro. In tal modo si riempie il sifone, e lo scolo si ottiene.

Con questi stessi principi s'intende facilmente il giuoco delle trombe comuni. Consistono queste, 1.° in un tubo che dicesi *d'aspirazione*; 2.° nel corpo della tromba, munito di uno stantuffo; 3.° in due o tre *valvule* applicate una fra il tubo d'aspirazione e il corpo della tromba, un'altra nella grossezza dello stantuffo, e una terza aggiunta fra il corpo della tromba e il tubo ascensionale da cui esce il liquido che è sollevato. La costruzione d'una valvula è assai semplice: e quantunque le valvule sieno indefinitamente variabili nelle loro forme e dimensioni, posson ridursi, o ad un cono troncato che entra esattamente in un foro della stessa forma e che può escirne quando sia spinto sulla parte stretta, o ad una lastra pesante posata sopra un orifizio circolare e fissata in modo da potersi talora distaccare, poi ricadere sul foro. Ma torniamo alle trombe, di cui è facile d'intendere la maniera di agire. Supponete lo stantuffo nell'estremità inferiore della tromba, e fate che si sollevi. Lascerà il vuoto di dietro a se, e l'aria contenuta nel tubo d'aspirazione solleverà immediatamente la valvula, e si getterà in questo spazio vuoto. Verrà così diminuita la sua forza elastica; e se il tubo sarà immerso in un liquido, dovrà questo necessariamente sollevarvisi perchè inegualmente premuto fuori e dentro il tubo. Abbassando lo stantuffo, l'aria introdotta nel tubo vien compressa, e quindi fatta più densa e più elastica dell'aria esterna. A questo punto si chiude la valvula che separa il tubo d'aspirazione dal corpo della tromba, e s'apre la valvula dello stantuffo per fare escire tutta l'aria. E questa è la ragione, per cui senza alcuno sforzo può portarsi lo stantuffo sino al punto più basso della sua corsa. Rinnovando questi movimenti dello stantuffo può concepirsi estratta tutta l'aria nell'interno della tromba, e in questo caso la colonna d'acqua sollevata sarà quella del barometro ad acqua, cioè sarà alta circa 32 piedi. Un giuoco di questo genere è descritto nella *Fig.* 58, di cui parleremo più innanzi a proposito della macchina pneumatica. Vedesi chiaramente che colla tromba *aspirante*, poco fa descritta, non può mai sollevarsi l'acqua ad un'altezza maggiore di 32 piedi. E se noi fossimo sopra un'alta montagna, non riesciremmo a sollevar l'acqua colle trombe che ad un'altezza minore. Si danno alle trombe moltissime altre forme: a me però non spetta descrivervi queste diverse costruzioni.

Debbo descrivervi ancora la macchina pneumatica di cui ci siamo serviti tante volte per estrar l'aria da un recipiente. Sia A (*Fig.* 58) un pallone pieno d'aria unito ad un cilindro nel quale si muove uno stantuffo. La parte interiore del corpo della tromba e lo stantuffo sono muniti di due valvule m ed n che chiudono due fori corrispondenti allorchè la pressione opera d'alto in basso, e s'aprono nel caso contrario. Se s'innalza lo stantuffo lasciando il vuoto di dietro a se, la pressione atmosferica chiude la valvula n, e intanto la forza elastica dell'aria del recipiente A apre la valvula m, e fa che s'introduca quest'aria nel corpo della tromba. Abbassando lo stantuffo l'aria si comprime, si chiude perciò la valvula m, mentre l'altra n si apre perchè l'aria possa escire. Così ad ogni ascensione dello stantuffo una parte dell'aria del recipiente A passa nel corpo della tromba, ed ogni volta che lo stantuffo s'abbassa questa porzione è rigettata nell'atmosfera. Ecco come continuando molte volte il giuoco dello stantuffo, si può estrarre gran parte dell'aria contenuta nel recipiente A. È facile di calcolare l'effetto di questa macchina, qualora si conosca il rapporto fra la capacità del recipiente e quella della tromba. Supponete, ad esempio, eguali queste due capacità; alla prima ascensione dello stantuffo l'aria del recipiente A occuperà uno spazio doppio, e vi ri-

merrà per conseguenza uno stesso volume di aria di cui la densità, la forza elastica e la massa saranno ridotte alla metà di quello che erano prima. Un secondo colpo di stantuffo ridurrà tutto ad un quarto, un terzo colpo ad un ottavo, e così ec. È perciò evidente che con un numero di movimenti dello stantuffo tanto più grande quanto più la capacità della tromba è piccola rispetto a quella del recipiente con cui comunica, si può giungere ad estrar da questo una quantità d'aria tanto più grande, quanto più piace; ed è certo ancora che non potrà mai estrarsi tutta, togliendosi sempre per ogni colpo dello stantuffo una frazione di quella che vi esiste. La legge di Mariotte ci dà facilmente il modo di calcolare ad ogni colpo dello stantuffo la forza elastica dell'aria che rimane nel recipiente. Sia V il volume del recipiente, P il volume del corpo della tromba percorso dallo stantuffo, p la pressione dell'atmosfera: la forza elastica dell'aria nel recipiente dopo il primo colpo dello stantuffo sarà divenuta $p.\frac{V}{V+P}$; dopo il secondo colpo sarà $p\frac{V}{V+P}.\frac{V}{V+P}=p\left(\frac{V}{V+P}\right)^2$; dopo n colpi sarà $p\left(\frac{V}{V+P}\right)^n$.

La macchina pneumatica inventata da Otto de Guericke borgomastro di Magdebourg nel 1650, non è molto diversa dall'apparecchio che abbiam descritto. Nelle *Fig.* 56 e 57 è descritta una macchina ordinaria, una di quelle che ora adoperiamo, e che molto differisce dalle prime immaginate. Dalla quale principalmente si distingue per le due trombe, di cui i due stantuffi forniti di due aste dentate che ingranano in una ruota pur dentata, si muovono insieme, e alternativamente salgono e scendono per mezzo della leva A B. In questo modo si distrugge l'effetto della pressione atmosferica che s' oppone al sollevamento dello stantuffo, agendo questa pressione ad abbassare l' altro stantuffo che scende. P Q è la *provetta* o barometro troncato, che per mezzo del *robinet* S comunica coll'aria del recipiente, e misura la sua forza elastica. R è il *robinet* che stabilisce la comunicazione fra il recipiente e le trombe, e che in oltre porta una specie di caviglia, la quale tolta, l'aria esterna s' introduce. Veggonsi nelle *Fig.* 57 e 58 le valvule coniche d'aspirazione che si muovono cogli stantuffi.

Perchè una macchina pneumatica sia perfetta dee soddisfare ad una condizione importantissima, la quale è che lo stantuffo giunga esattamente nel limite inferiore della sua corsa sino in basso del corpo della tromba, a modo di non lasciare alcun intervallo pieno di aria. Babinet ha introdotta una modificazione assai ingegnosa, per mezzo della quale si ottiene un vuoto tale, che l' aria è ridotta, colle macchine che hanno questa modificazione, a fare equilibrio ad una colonna di mercurio alta un millimetro.

Parrebbe da alcuni esperimenti di recente fatti in Scozia ed in Francia, che la macchina pneumatica fosse destinata a non esser più un solo istrumento di gabinetto. La pressione dell'atmosfera premendo contro uno stantuffo, di dietro al quale si è fatto il vuoto, e che sarebbe unito e delle carrozze, le metterebbe in moto sopra strade di ferro.

Sullo stesso principio delle macchina pneumatica si fonda la *macchina di compressione*. Sta la differenza nelle velvule che s'aprono in senso contrario. Le due valvule m ed n (*Fig.* 58), se si tratta di comprimere l'aria nel recipiente A, devono aprirsi dall' infuori all' indentro. È evidente che ad ogni colpo dello stantuffo s'introduce nel recipiente lo stesso volume d'aria, e che può quindi aumentarsene la densità e la forza elastica finchè si vuole, o almeno finchè lo permette la resistenza delle pareti. Il soffietto comune, semplice o doppio, agisce sul principio della macchina di compressione. Se per mezzo della macchina di compressione si aumenta la quantità d'aria e quindi la sua forza elastica, in un recipiente che contenga acqua e che non abbia altra comunicazione coll' atmosfera che per mezzo di un tubo immerso in quel liquido, l'acqua salirà necessariamente nell' interno del tubo. Si suol costruire quest' apparecchio munendo il tubo di un *robinet*, che si apre dopo aver compressa l'aria nel recipiente: si vede allora l'acqua escire, e formare un getto più o meno alto secondo che più o men grande era l'eccesso della forza elastica dell' aria interna sull' esterna. A misura che esce il liquido, l' elasticità dell'aria diminuisce, distendendosi questa nello spazio che occupava l' acqua che esce; perciò diminuisce continuamente l'altezza del getto. Un tale apparecchio dicesi *fontana di compressione*.

È pure sopra gli stessi principi che si fonda il fucile a vento: basta nominarlo perchè se ne intenda il meccanismo. La cassa del fucile contiene un serbatoio con valvule opportune, perchè vi si possa comprimer l' aria sotto la pressione di 8 o 10 atmosfere. Si unisce a questa cassa, per mezzo di vite, la canna che riceve il proiettile, e ne dirige il movimento. Una molla preme per un istante la valvula di comunicazione fra la cassa e la

canna: l'aria esce con violenza, la palla è lanciata, e la valvula si richiude. Si posson tirar di seguito diversi colpi, secondo la varia capacità del recipiente. La velocità con cui il proiettile è lanciato, può esser quanta se ne ha col fucile a polvere. Anche nel fucile ad aria v'è ad ogni colpo, almeno quando la forza elastica è ancora molta, scoppio e luce all'estremità della canna. Parleremo più innanzi delle cagioni di questi due fenomeni.

Sono molti anni che si medita sul modo di trar partito dalla forza elastica dell'aria condensata: nè si è meno tentato di approfittare della immensa forza elastica dei corpi gassosi ridotti, come abbiam veduto, allo stato liquido e anche solido. La difficoltà di rendere uniforme lo sgorgo del gas compresso, e molte altre essenzialmente pratiche sino ad ora opposte, impedirono di mettere ad effetto questi pensieri teoretici. Giova per altro sperare che il genio della Meccanica pratica saprà vincerli.

Aggiungerò ancora due parole sul modo comunemente adoperato dai Chimici per raccogliere i gas, e sugli apparecchi entro i quali si sviluppano. Si adupera per raccogliere i gas una vasca (*Fig.* 49) piena d'acqua, che porta ad una certa altezza e fissa alle sue pareti, una tavoletta *m n* piena di buchi. S'introducono sotto l'acqua delle campane di vetro, s'empiono d'acqua lasciandone escir l'aria, ciò che si fa tenendole orizzontali, e così piene si raddrizzano e si portano sulla tavoletta, tenendole sempre colla loro base sotto l'acqua. È chiaro che costringendo dell'aria o un gas qualunque, ad escire sotto l'acqua e precisamente sotto la tavoletta *m n* della vasca, dovrà l'aria o il gas salire a bolle a bolle entro la campana, e l'acqua scendere per cedergli il posto. Può con questo stesso apparecchio travasarsi il gas da una campana all'altra come vedesi nella *Fig.* 49. Ordinariamente i gas si preparano entro apparecchi di vetro, che chiamansi *storte*. Si soglion munire queste storte nelle quali il gas si sviluppa, di un istrumento detto *tubo di sicurezza*, e che previene l'*assorbimento del liquido*. Prendete una storta, e fate che l'estremità del suo collo o il tubo unito, peschino nell'acqua, come conviene fare per raccogliere i gas. Riscaldate in un modo qualunque la storta; l'aria si dilaterà essendo riscaldata, ed escirà in parte. Supponete che si raffreddi la storta, cesserà l'aria di essere elastica quanto lo era per l'aggiunta del calore, nè potrà più riprendere la sua elasticità, essendone escita una porzione. Quindi la pressione atmosferica agirà sulla superficie esterna del liquido, e lo spingerà entro la storta. Nel maggior numero dei casi i gas si preparano col riscaldamento delle sostanze da cui si sviluppano, ed il fenomeno dell'assorbimento che abbiam descritto è molto frequente. Hanno riparato a quest'inconveniente i tubi di sicurezza immaginati da Welter. Questi tubi non son altro che manometri fatti con un tubo a due branche come sarebbe quello della *Fig.* 68, che contiene una colonna di liquido che separa l'aria interna dall'esterna. Quando la forza elastica interna è maggiore di quella dell'aria, la colonna liquida è scacciata, e il gas può escire. In questo modo s'impediscono le esplosioni che avverrebbero, crescendo troppo la forza elastica del gas sviluppato. Quando invece la forza elastica interna è minore di quella dell'aria, questa respinge la colonna del liquido nel senso contrario di prima, si fa strada a traverso di questa colonna, e se ne introduce quanta ne occorre, onde ristabilire l'equilibrio delle due pressioni.

LEZIONE XXV.

Proprietà dei corpi solidi.—Cristallizzazione.—Relazione fra questa e la composizione atomistica.—Legge dell'isomorfismo di Mitscherlich.—Tempra.—Moto molecolare dei solidi.

Ci siamo rappresentati i corpi solidi come formati dalla riunione di molecole tutte simili, e mantenute in equilibrio stabile ad una certa distanza fra loro sotto l'influenza della loro attrazione, e della forza ripulsiva del calore interposto. Si è pure aggiunto che la distanza a cui si trovavano le molecole era tanto piccola da doversi ammettere che la loro attrazione fosse modificata dalla loro forma e natura, e che perciò l'equilibrio non fosse solo dipendente dalle loro distanze, ma ben anche dalle loro posizioni relative. Il carattere di questo stato dei corpi in conseguenza del modo con cui ce li rappresentiamo, è quello d'avere una forma determinata, che essi non possono perdere senza l'intervento di forze esteriori. Risulta infatti dall'esperienza, che i corpi solidi provano una diminuzione di volume allorchè le forze esteriori tendono a ravvicinar le molecole, ed un aumento allorchè agiscono in senso contrario. L'esperienza ci mostra anche di più: se l'*attrazione*, o la *pressione* esercitate sopra un corpo solido

non oltrepassano un certo limite, l'aumento o la diminuzione di volume che si produce non è permanente, e, cessata l'azione della forza aggiunta, il corpo riprende rigorosamente la sua forma e il suo volume primitivo. Se invece è oltrepassato questo tal limite, che vedremo variare per ogni corpo, la forma e la densità del corpo rimangono alterate. Nel primo caso le molecole ritornano alle loro prime posizioni d'equilibrio cessata la forza che le ha distolte; nel secondo si trovano portate a nuova posizione d'equilibrio, in cui persistono. Risultano da queste diverse circostanze due proprietà ben distinte dei corpi solidi. Una delle quali è l'elasticità, cioè la proprietà che ha un corpo solido di riprendere rigorosamente le sue primitive dimensioni, allorchè cessano di agirvi sopra quelle forze estranee che dentro certi limiti lo avevano compresso o dilatato. Chiamasi *limite dell'elasticità* per ogni corpo, il limite degli sforzi che può sostenere senza cessare di essere elastico. L'altra proprietà che possiede un corpo solido di cambiare di densità e di forma senza disgregarsi sotto l'azione di forze che hanno oltrepassato il limite della sua elasticità, è denominata in diverso modo, secondo il processo che si adopera per sviluppparla. Chiamasi *duttilità* se si tratta di ridurre un corpo in fili; si dice *malleabilità* se vuoi ridursi in lastre sottili.

Queste proprietà sono essenzialmente legate alla disposizione molecolare dei diversi corpi solidi, o a ciò che chiamiamo *struttura* dei corpi solidi; ond'è che stimo utile di occuparmi più estesamente di quelle proprietà dopo che v'avrò parlato della struttura dei corpi solidi.

Le circostanze che presiedono alla formazione di un corpo solido sono varie, e varia con queste la sua struttura. Possiamo fondere un corpo riscaldandolo sino ad una data temperatura, come lo zolfo, il bismuto, il rame ec.: possiamo renderlo liquido sciogliendolo nell'acqua, o in un altro liquido qualunque, come si fa pei sali, per lo zucchero ec. In qualunque siasi di queste maniere, il corpo sciolto ripiglia lo stato solido, o raffreddandosi o diminuendosi la solubilità del liquido in cui è disciolto, ciò che può avvenire per un abbassamento di temperatura e per la diminuzione del liquido in cui è sciolto. Osservate ciò che accade in questa soluzione di nitro che è *satura* ad una temperatura molto alta. C'insegna la Chimica che la quantità di questo sale che può essere sciolto da una data quantità d'acqua, cresce colla temperatura del liquido. È perciò che lasciato raffreddare, voi lo vedete abbandonare una parte di nitro allo stato solido. Osservate che lo stesso accade, senza che la temperatura della soluzione si abbassi, seguitando a scaldarla; una porzione dell'acqua si trasforma in vapore, ed abbandona così allo stato solido quella porzione di nitro che teneva sciolto. Ma interessa assai che in questo passaggio dallo stato liquido al solido, notiate le circostanze sotto cui si opera; posso ridurre istantaneamente questo zolfo fuso allo stato solido gettandolo nell'acqua fredda, o posso invece lasciarlo lentamente raffreddare. Così interviene della soluzione di nitro: questa soluzione satura ad un'alta temperatura la vedete solidificarsi gettandola sopra un marmo freddo; abbandonandola a sè, facendola raffreddar lentamente, si otterrebbe ancora il nitro allo stato solido. Ma chi è di voi che gettando gli occhi sopra lo stesso corpo ottenuto nelle due circostanze diverse, cioè di una lenta o d'una rapida solidificazione, non veda quanto è grande la differenza che presentano le proprietà fisiche del solido ottenuto nei due modi? In un caso il corpo solido si presenta con forme poliedriche regolari, con facce lucenti, in una parola è un *corpo cristallizzato*. Nell'altro non v'è niente di tutto questo, o al più si veggono piccoli corpicciuoli in cui appena appariscono le forme di un corpo cristallizzato.

Questa proprietà dei corpi solidi di cristallizzare allorchè le molecole che li compongono obbediscono lentamente e con libertà alle loro forze molecolari, merita un qualche studio; e noi cominceremo dall'esaminare in breve per quali circostanze sia generalmente favorita la cristallizzazione. Volendo far cristallizzare quei corpi che si fondono per il riscaldamento, si suole lasciar raffreddare lentamente la massa fusa, sino a tanto che si sia fatta solida la superficie; allora si fora questa crosta, e si decanta il liquido interno. Quanto più è grande la massa che si è fusa, e quindi più lento il raffreddamento della massa interna, tanto più succede meglio la cristallizzazione. I primi cristalli formati internamente, se sono lasciati a contatto della parte ancor liquida, si ricoprono di nuovi strati più o meno irregolarmente disposti, e così non si hanno mai cristalli ben distinti. V'è un esperimento assai curioso il quale prova che una volta formata la crosta solida alla superficie di una massa ancor liquida nell'interno, questa è compressa, e tende a dilatarsi ed a lasciar maggiore spazio alle molecole interne che cristallizzano. Provate a fondere il bismuto, e fuso che sia lasciatelo raffreddare; poco dopo che la crosta si è formata, la vedrete in uno o più punti

venir rotta dal bismuto interno ancor liquido che vi si solleva sopra a guisa di funghi. Questo fenomeno che si verifica costantemente mi ha sempre offerto in un modo assai chiaro una grande analogia, perquanto sia forse lontana dal vero, col fatto dei sollevamenti e delle rotture prodotte nella crosta solida della terra dalla sua massa centrale ancor liquida.

Il bismuto puro, che è di tutti i metalli quello che cristallizza più facilmente, si ottiene assai bene cristallizzato col processo che abbiamo descritto. Mitscherlich facendo fondere 50 libbre di zolfo e lasciandolo raffreddar lentamente, poi decantando il liquido interno per il foro fatto nella crosta, ottenne cristalli di una grande regolarità, che non avevano meno di un mezzo pollice di grossezza. Naturalmente nel seno della terra la consolidazione si opera con tutta la lentezza possibile, ed è questa probabilmente la cagione delle belle cristallizzazioni che presentano i prodotti naturali. Vedete qui questa *pietra a zolfo*, che viene dalle miniere del Riminese in Romagna; vi sono impiantati in una cavità cristalli limpidissimi di zolfo, che hanno oltre un pollice di grossezza. In ogni caso poi la cristallizzazione si opera sempre tanto meglio quanto più il raffreddamento fu lento, e maggiore la massa tenuta in fusione. Queste stesse circostanze giovano alla cristallizzazione dei corpi tenuti in soluzione nell'acqua, o in un altro liquido qualunque. Se si vogliono dei bei cristalli regolari, bene sviluppati, conviene adoperare grandi masse di queste soluzioni, portarle a *saturazione* ad una temperatura elevata, poi procurare che si raffreddino nel modo più lento possibile. Se le soluzioni non sono sature, i cristalli non s'ottengono mai che piccoli e irregolari: ed è per questa ragione che facendo cristallizzare grandi masse liquide, seguitano queste ad esser cariche del corpo che cristallizza anche dopo essersi cominciata la cristallizzazione, ed i cristalli sono sempre grossi e bene sviluppati. Osservate questa massa di allume che ha cristallizzato in una piccola quantità di liquido: i cristalli interni, i primi formati, sono grossi, regolari, bene sviluppati; sopra questi se ne sono deposti altri sempre più piccoli ed imperfetti. All'incontro nella gran massa dello stesso allume, che qui vedete, ottenuta nei vasti cristallizzatoi dove si prepara questo sale, i cristalli son tutti egualmente regolari, e d'una grossezza almeno venti volte maggiore di quella dei primi che vi ho mostrato, e che sono ottenuti in una piccola massa liquida. Con questi principi s'intende il processo di Leblanc per ottenere grossi cristalli da una soluzione: i primi cristalli formati vengono in questo processo passati in una soluzione satura dello stesso corpo, poi dopo qualche tempo in un'altra, e così di seguito. Questo processo giustamente si chiama quello *di nutrire* i cristalli.

Non lascerò fuggire questa occasione per dirvi di una curiosa circostanza che si osserva nelle cristallizzazioni che ho descritte. Gettate in una soluzione satura di un corpo qualunque un corpo solido; un legno, un filo metallico, un cristallo dello stesso corpo o di un altro: la cristallizzazione del corpo sciolto accade più facilmente dopo questa introduzione, e una gran parte dei nuovi cristalli si depongono da prima sul corpo introdotto. Con questo processo si ricuoprono di allume cristallizzato, di solfato di rame ec. dei fili di metallo disposti con arte. Un fatto analogo è quello delle incrostazioni calcaree che in così poco tempo si formano sui corpi immersi nelle acque dei Bagni di S. Filippo e d'altri luoghi, nelle quali il carbonato di calce sciolto dall'eccesso dell'acido carbonico, è costretto a deporsi ed a cristallizzare allorchè quest'acido si dissipa. Vi sono molti altri esempi di soluzioni saline che tendono a scomporsi, allorchè sono mescolate, dando luogo ad un prodotto insolubile, e che pure persistono senza alterarsi se si lasciano tranquille; basta agitarle per qualche tempo, perchè la precipitazione si faccia. Intorno i quali fatti potrebbe dirsi che nel passaggio di un corpo dallo stato liquido al solido, le attrazioni molecolari devon vincere la *indifferenza di ognuna delle molecole* ad unirsi piuttosto all'una che all'altra di quelle che ha intorno. Un corpo solido introdotto, una brusca agitazione nella massa, disturbano questo stato d'indifferenza.

Ora che conosciamo bene per quali circostanze avviene la cristallizzazione, dobbiamo aggiungere qualche parola sopra questo stato dei corpi solidi. Romé de Lisle fu il primo ad esaminare attentamente un gran numero di cristalli: ne misurò gli angoli piani e solidi, e stabilì che per ogni sostanza erano costanti o avevano almeno dei rapporti determinati fra loro: ne paragonò le forme più disparate che uno stesso corpo presentava, e giunse a riconoscere che queste diverse forme erano collegate fra loro derivando da una o più forme fondamentali, nelle quali gli angoli solidi o gli spigoli trovavansi modificati in modo da produrre le varie forme sotto cui si presentano. In seguito queste idee si sono più estese e in gran parte confermate. Egli è possibile, col mezzo della *divisione meccanica*, di fare l'anatomia di un cristallo. Provate ad introdurre

una lama d' acciaio, uno strumento a taglio qualunque, in un corpo cristallizzato, e troverete che vi sono piani nei quali è facile di penetrare; e sono appunto questi piani di cui il numero e la posizione relativa variano da una sostanza ad un' altra, che formano le giunture naturali delle parti del cristallo. La calce carbonata o spato d'Islanda, presenta questo fenomeno in un modo assai evidente. Date dei colpi reiterati sopra un pezzo di questo corpo, e otterrete dei piccoli parallelepipedi di cui le dimensioni diventeranno sempre più piccole ripetendovi sopra i colpi, ed anche quando saranno ridotti invisibili all' occhio non cesseranno di avere la stessa forma. E questa è la forma limite che chiamasi in Mineralogia *molecola integrante*, o *forma primitiva del cristallo*. Varia la forma primitiva secondo che è vario il numero dei piani, o giunture naturali del cristallo: tre diversi piani danno per forma primitiva un parallelepipedo, quattro un ottaedro o un tetraedro, un più gran numero un dodecaedro. Queste molecole integranti si uniscono, si soprappongono con leggi determinate dando luogo ai cristalli che noi vediamo, *alle forme così dette secondarie*. È facile ad intendersi, che queste forme secondarie possono esser varie, benchè prodotte dalle sovrapposizioni di una stessa molecola integrante, ammettendo che quelle di queste molecole che si vanno soprapponendo alla prima, non tutte egualmente si dispongano sulle stesse sue parti: avvengono così delle modificazioni nei suoi angoli e spigoli, rimpiazzati da una o più facce, talora piccole, talora tanto grandi da impicciolire le prime facce sino a farle sparire, e da produrre così un solido tutto diverso dalla forma primitiva. Hauy ha scoperto le leggi generali che regolano queste soprapposizioni, ed ha svelata la struttura dei corpi cristallizzati. Non spetta a noi esporle con la dovuta estensione, posciachè esse formano la parte la più importante della Mineralogia. Dirò solo che le dette leggi possono in generale ridursi a questa: *per ogni cristallo la parti della stessa specie, spigoli ed angoli solidi, sono tutte modificate ad un tempo ed egualmente, e le parti di una specie diversa son modificate in un modo pur diverso*.

Non può però ammettersi con tutta la generalità, che le direzioni dei piani di facile divisione o giunture naturali siano parallele alle facce delle molecole. L' esperienza ha mostrato che la calce carbonata e l' arragonite le quali hanno la stessa chimica composizione, appartengono a sistemi di cristallizzazione incompatibili fra loro: questo stesso avviene dello zolfo, secondo che è ottenuto col raffreddamento lento dello zolfo fuso, o dal solfuro di carbonio decomposto. Da questi fatti converrebbe dunque concludere, che essendo varia la forma primitiva, fosse pur varia la forma delle molecole: e forse la divisione meccanica che abbiam descritto non ci porta che alle forme di certi gruppi molecolari.

Anche nelle masse solide che sembrano formate di molecole riunite in un modo confuso possono scoprirsi alcuni indizi di cristallizzazione regolare. È importante che io vi dia un cenno del processo che si adopera. Immergete una lamina di latta in una soluzione di acido nitrico o idroclorico, e al momento vedrete la superficie cangiar d'apparenza. Ella si coprirà di tante facce cristalline diversamente disposte, e sembrerà dipinta con ondeggiature di una diversa tinta. E se aveste riscaldata la latta disegualmente nei suoi diversi punti, prima di sottoporla all'azione dell' acido, avreste osservato variare corrispondentemente la nuova apparenza della superficie. Questo stesso risultato si ottiene sul bismuto a contatto dell'acido nitrico, posciachè si copre allora sopra tutta la sua superficie di piccoli cubi. Un tal processo non può intendersi che ricorrendo ai principi che abbiamo già esposti. L'azione chimica dell'acido attacca più facilmente le parti imperfettamente cristallizzate, penetra come fa la lamina del coltello nella divisione meccanica fra i piani di facile separazione, e scuopre così le facce cristalline. Quella massa d' allume cristallizzato, e che v' ho detto composi di grossi cristalli cui sono sovrapposti dei cristalli sempre più piccoli, vi spiega l'azione dell'acido sulla latta: i piccoli cristalli facilmente si distaccano, si sciolgono i primi nell'acqua, e se terrete una tal massa immersa in questo liquido, vedrete scoprirsi i grossi cristalli e sparire i piccoli.

Non posso tutto tacervi di una legge importante che stabilisce la relazione fra le forme cristalline o la struttura di un corpo, e la proporzione varia dei suoi componenti. Estendendomi sopra questo soggetto non credo invadere il campo della Chimica. È la storia particolare dei fatti, la descrizione delle circostanze speciali che accompagnano le azioni delle diverse molecole *eterogenee* l'una sopra l'altra, che appartengono a questa scienza; ma le leggi generali di queste azioni, lo studio delle forze da cui dipendono spettano a noi; son della Fisica. Perchè bene intendiate questa legge devo prepararvici con alcuni cenni sulle leggi generali delle combinazioni chimiche. Esse riduconsi a due: *costanti, invariabili*: vere quanto i fatti da cui son dedotte.

Eccovi la prima : le quantità dei diversi corpi che entrano in combinazione chimica, sono costanti per ogni corpo che forma combinazione con un altro. In tutte le circostanze l'acqua contiene 100 parti di ossigene, e 12,479 d'idrogene; l'acido ipo-solforoso è sempre fatto di 100 parti di ossigene, e 201,17 di zolfo. Determinate coll'esperienza queste quantità dei diversi corpi che costituiscono le loro combinazioni, rimane facile di trovare l'espressione delle quantità di questi stessi corpi, supponendo che si combinino ad una quantità determinata di uno di loro. Queste quantità sono anche quelle in cui si formano le combinazioni fra tutti loro. Si forma così la tavola dei *numeri proporzionali* o *equivalenti chimici*, che è costituita dalle quantità ponderabili di tutti i corpi, che si combinano a una data quantità di ossigene espressa con 100. Così 100 parti di ossigene si combinano con 489,92 parti di potassio per formare l'ossido di potassio o potassa comune; con 1351, 61 d'argento per formare l'ossido d'argento. Le stesse quantità di potassio e d'argento si combinano con 201,17 di zolfo, e formano i solfuri di potassio e d'argento; 201,17 di zolfo si combinano con 100 di ossigene, e formano l'acido ipo-solforoso. Bene adunque chiamansi *equivalenti* coteste quantità ponderabili dei diversi corpi che entrano in combinazione, poichè quantunque diverse in peso, egualmente soddisfano agli effetti dell'affinità chimica.

L'altra legge delle combinazioni chimiche può esprimersi in questi termini : allorchè un corpo A si combina ad un corpo B in diverse proporzioni, producendo diverse combinazioni di questi stessi due corpi, presa la quantità di A costante, si trova che la quantità di B nel secondo grado di combinazione è doppia di quella della prima, è tripla nel terzo grado, quadrupla nel quarto ec. Si ha così A + B per primo grado di combinazione, A + BB per secondo grado di combinazione, A + B B B per terzo grado di combinazione, A + B B B B per quarto grado di combinazione, e così ec. Eccovene un esempio dedotto dalle analisi le più esatte.

	zolfo. *ossig.*
Acido ipo-solforoso, o 1.° grado di combinazione fra	201,17 + 100
Acido solforoso, o 2.° grado di combinaz. fra . .	201,17 + 200
Acido solforico, o 3.° grado di combinaz. fra . .	201,17 + 300

Questa seconda legge è quella *delle proporzioni multiple* con cui si fanno le combinazioni.

Ammettete nei corpi delle *molecole indivisibili*, degli *atomi*; rappresentatevi i pesi di questi atomi con numeri che siano negli stessi rapporti nei quali si trovano gli equivalenti chimici, cioè quelle quantità ponderabili dei corpi fra cui avvengono le combinazioni, e avrete intese le basi fondamentali della teoria chimica atomistica.

Possiamo ora intendere la relazione scoperta fra la composizione, e la forma cristallina di un corpo. Tutti i corpi composti che corrispondono fra loro per la composizione, che possono rappresentarsi colla stessa formola chimica, sono egualmente cristallizzati, sono *isomorfi*. Questa legge dell'isomorfismo, di cui devesi la scoperta a Mitscherlich, è della più alta importanza. Due elementi della stessa forma producono combinazioni egualmente della stessa forma, se queste combinazioni contengono uno stesso numero di atomi egualmente disposti. Una combinazione che è isomorfa con una o più altre, possiede una composizione simile, e contiene lo stesso numero di atomi dei corpi costituenti. Son questi i due fatti che riassumono la legge dell'isomorfismo. Volendo darsi un'idea chiara della cagione di questi fenomeni, conviene attribuirla alla forma eguale delle molecole dei corpi e ad una disposizione simile nelle loro combinazioni. Ciò che ci guida evidentemente all'esistenza degli atomi, e ci dà una prova assai potente in favore della teoria atomistica. Dumas e più particolarmente Kopp sono giunti ad alcune leggi che, quantunque approssimative, esprimono una relazione importante fra il volume atomico, l'isomorfismo ed il peso specifico.

Dividendo i pesi specifici dei corpi per i pesi atomistici corrispondenti, i quozienti esprimono i rapporti dei numeri degli atomi dei diversi corpi sotto l'unità di volume. Così dividendo il peso dell'atomo per il peso specifico, il quoziente esprime il volume dell'atomo. La prima formola è $n = \frac{D}{p}$: l'altra $\frac{p}{D} = v$.

Ricordiamoci che le densità stanno fra loro come i pesi dei corpi presi tutti ad un egual volume, e che perciò in un dato peso d'un corpo vi sarà tanto minor numero di atomi, quanto più questi saranno pesanti; per cui il loro numero n è reciproco al loro peso p o $p\,n = D$.

Risolvendo queste formole, dopo avervi introdotto i valori di p e di D dati dall'esperienza per i diversi corpi, Kopp è giunto a dedurre alcune leggi, approssimativamente vere e molto importanti. Eccole queste leggi: Nei corpi isomorfi i pesi specifici sono

proporzionali ai pesi atomici, o i corpi isomorfi hanno lo stesso volume atomico. Le molecole dei corpi isomorfi sono eguali non solo nella loro forma, ma ancora nelle dimensioni.

Duolmi di non potervi più a lungo trattenere su questo argomento; ma io non poteva che dirvene i punti fondamentali.

Ci rimane ad esaminare qual è l'effetto delle solidificazione operata rapidamente sulla struttura dei corpi solidi. Sopra questo soggetto noi manchiamo affatto di principi generali, e può dirsi che per ogni corpo è vario il risultato ottenuto col suo rapido cambiamento di stato, e che per ogni corpo evvi un modo proprio di sopportare questo cambiamento. Esporremo dunque ciò che si osserva di più costante. Thenard ha osservato per il primo, che il fosforo riscaldato sino a 60° e lentamente raffreddato, si consolida conservandosi bianco e trasparente: raffreddato rapidamente gettandolo nell'acqua fredda, divien nero ed opaco come carbone, e lo stesso fosforo può farsi di nuovo ripassare dall'uno stato all'altro. Lo zolfo non è meno singolare in questo passaggio. Gettate dello zolfo appena fuso nell'acqua fredda, e lo avrete all'istante consolidato, friabilissimo e di un bel color giallo. Proseguite invece a scaldarlo, riscaldatelo con un più forte calore, aspettate che abbia preso una tinta rossastra, e in questo stato gettatelo in una gran massa d'acqua spargendolo a modo che il raffreddamento sia subitaneo, otterrete lo zolfo malleabile, che tirerete in fili sottilissimi e con cui potrete cavare l'impronta delle medaglie. Nè crediate che per quel lungo riscaldamento siasi lo zolfo combinato ad un altro corpo, e che la sua natura chimica abbia cambiato: questo stesso zolfo di nuovo fuso e subito gettato nell'acqua ritorna friabile come prima. Il vetro fuso e gettato nell'acqua fredda acquista una grandissima durezza. Ciò che vi è di più singolare in questo caso è la specie di dilatazione in cui son tenute le molecole interne del vetro così consolidato, e la resistenza simultanea di tutti i punti dell'inviluppo che mantiene le molecole interne in questo stato di tensione; di maniera che se una porzione di questa crosta viene a mancare, il vetro si rompe con violenza e tutto si riduce in polvere. Altrettanto avviene delle così dette *lacrime bataviche*, che si fanno gettando delle gocce di vetro fuso nell'acqua. Si possono percuotere queste *lacrime* sulla loro crosta senza che si rompano, ma tutto va in mille frammenti se la punta o l'estremità del filo con cui terminano si rompe. Riscaldate una lacrima batavica ad una temperatura piuttosto alta, lasciatela raffreddare all'aria lentamente, e avrà perdute le sue proprietà, sarà divenuta come il vetro ordinario che si rompe nei punti immediatamente percossi. Questo spiega la pratica che si ha nelle vetrerie di riscaldare di nuovo i vetri già fabbricati, perchè così *rincotti* perdono la fragilità acquistata col rapido raffreddamento. V'è una sostanza che nel consolidarsi presenta fenomeni ben singolari, e che lo sono tanto più perchè opposti a quelli che abbiamo trovati nel vetro. Questa sostanza è la lega degl'istromenti chinesi, che conosciamo sotto il nome di *tamtam*, e che è composta di 4 parti di rame e di una di stagno. Se la lega del tamtam è lentamente raffreddata e fragile come il vetro, e se si raffredda rapidamente divien malleabile, può lavorarsi col martello, ridursi ad istrumento di musica. Vi dirò finalmente dell'acciaio che acquista proprietà tanto singolari raffreddandolo rapidamente. Questa operazione, che chiamasi *tempra*, non si fa portando l'acciaio alla fusione: si riscalda però ad un'alta temperatura, e si raffredda istantaneamente immergendolo nell'acqua, o in un altro liquido qualunque. Per questo cambiamento si fa duro, elastico, nè può più battersi col martello senza che si rompa; e tali proprietà sono in un grado tanto maggiore, quanto più è alta la temperatura alla quale si riscalda, e più rapido il raffreddamento. Si rende all'acciaio la sua duttilità riscaldandolo di nuovo e lasciandolo raffreddar lentamente. Combinando assieme i due processi della tempra e del *rincocimento*, gli artisti danno all'acciaio, secondo i diversi casi, il conveniente grado di durezza. Cominciano perciò dal dare all'acciaio la tempra la più dura possibile: poi lo riducono più o meno tenero riscaldandolo gradatamente. I colori singolari che presenta l'acciaio temprato allorchè si riscalda, sono la guida pratica di questa seconda operazione.

Cotali effetti tanto varii, prodotti dal modo rapido con cui si produce il cambiamento di stato, sono ancora senza spiegazione. Si suol dire dell'acciaio e del vetro che le molecole superficiali si consolidano rapidamente, ed inviluppano da tutte le parti il nucleo interno, ancora molto dilatato dal calore. E certo è che questo nucleo raffreddandosi lentamente sarebbe diminuito di volume; ma poichè è costretto di occupare, fatto solido e raffreddato, lo stesso spazio che occupava quando era liquido e molto dilatato, le sue molecole interne devon fare uno sforzo continuo per rompere la volte dal di fuori ed di dentro.

In realtà l'esperienza indica che l'acciaio temprato è meno denso, o, ciò che torna lo stesso, occupa più volume che se fosse len-

tamente raffreddato. Ma come spiegare con questa teoria la sua maggior durezza ed elasticità; come intendere a più forte ragione i fenomeni opposti della lega del tamtam?

Tutti questi fenomeni sono dipendenti da una serie di stati d'equilibrio possibili fra le forze che animano le molecole, e che abbiamo ammesso dipendere non solo dalle distanze a cui queste molecole si trovano, ma anche dalla lor disposizione rispettiva. Egli è perciò facile d'intendere che queste posizioni relative sono tutt'altro che invariabili, e che perciò le molecole dei corpi devon poter cambiare di posto, prender nuove disposizioni, e così i corpi passare successivamente da uno stato di aggregazione ad un altro. Il vetro presenta singolarmente questo fenomeno. Bellani ha infatti osservato che la capacità di una palla di vetro diminuisce dopo un certo tempo, in modo da contenere una quantità di liquido minore di quella che conteneva in origine. Si è in seguito osservato che queste palle di vetro non presentavano più un tal fenomeno rincocendole convenientemente. Molti altri esempi vi sono di corpi solidi che soffrono questo cambiamento, e passano da una posizione d'equilibrio ad un'altra. Mitscherlich ha esteso questo numero, nel caso in cui s'aggiunga un lieve riscaldamento al corpo. Il solfato di nikel esposto in estate alla luce solare soffre nelle sue parti, senza punto variare nella sua forma esteriore, un gran cambiamento nella cristallizzazione; poichè i suoi cristalli prismatici si mutano in ottaedri a base quadrata. Il seleniato di zinco a forma prismatica esposto al sole sopra un foglio di carta, si trasforma in pochi istanti in cristalli ottaedri a base quadrata. Un cambiamento analogo avviene nel solfato di magnesia e di zinco, allorchè son bolliti nell'alcool. Potrei citarvi molti altri esempi che provano questa mobilità continua delle molecole dei corpi solidi.

Tutti i fatti citati e molti altri che sarei troppo lungo se volessi descrivervi stabiliscono, che molecole della stessa natura possono secondo la diversa disposizione che prendono, produrre corpi apparentemente molto diversi. Il carbone, che si presenta cristallizzato nel diamante, nero, più o meno friabile e denso nella grafite e nel carbone di legna, è un esempio luminoso di quanto vi dico. Berzelius ha recentemente raccolto in una memoria un gran numero di esempi di questo stato diverso, *allotropico*, in cui si presenta uno stesso corpo semplice.

È importante di vedere che i corpi allotropici portano nelle loro combinazioni delle proprietà, le quali ricordano lo stato allotropico che posseggono prima di combinarsi. Interessa assai che la Chimica estenda questo soggetto, il quale si presenta vastissimo e ricco di conseguenze per la Fisica molecolare. I tanti corpi semplici che oggi la Chimica è costretta ad ammettere, non potrebbero un giorno ridursi a tante modificazioni di un'unica materia, diversa per la grandezza, per la densità delle molecole, per le varie disposizioni delle medesime? È forse di questa scoperta che Napoleone intendeva parlare allorchè rispondeva a Lagrangia, che v'era ancora da scoprire *il mondo dei dettagli*.

LEZIONE XXVI.

Della elasticità. — Legge di Sgravesande. — Elasticità di torsione. — Bilancia di torsione. — Urto dei corpi elastici. — Duttilità. — Tenacità. — Durezza.

Abbiamo definita l'elasticità quella proprietà che hanno i corpi solidi di riprendere la loro forma allorchè è cessata la forza che l'aveva alterata in seguito di un movimento comunicato dall'esterno a tutte le molecole di cui son formati. Questo cambiamento di forma necessario allo sviluppo dell'elasticità, è manifestissimo nelle lamine e nei fili. Non però in tutte le circostanze questo cambiamento di forma è così palese. Se si getta una palla d'avorio sopra un piano di marmo, si vedrà la palla risalire quasi al punto di partenza. Benchè questo fenomeno indichi una grande elasticità nella palla, non si conosce però che per l'urto siasi questa schiacciata. Eccovi con un esperimento la prova del cambiamento di figura che ha sviluppato l'elasticità della palla; ungete il piano, o affumicatelo, e poi lasciate cadervi sopra la palla: nel punto di contatto, che senza la compressione sarebbe appena visibile, scorgerete un'estensione circolare di qualche linea di diametro. Le forze che sviluppano l'elasticità son quelle che determinano l'equilibrio molecolare dei solidi. Se due molecole s'allontanano o s'avvicinano fra loro, si sveglierà fra queste un'azione attrattiva e ripulsiva, di cui l'intensità dovrà dipendere dalla quantità di allontanamento o ravvicinamento. Appartiene ad ogni corpo l'elasticità in un grado diverso, e v'è per ognuno un limite d'elasticità che misura la quantità delle variazioni che può subire senza cessare d'essere elastico. Parten-

do da tali principi i Geometri hanno stabilito le espressioni analitiche delle leggi che regolano i movimenti e l'equilibrio interno di un corpo solido cui sono applicate delle forze, entro i limiti della sua elasticità. Queste equazioni contengono un coefficiente numerico determinato dall'esperienza, costante per uno stesso corpo, variabile però da un corpo ad un altro, e di cui il valore, senza influire sulle leggi dell'elasticità, serve in qualche modo di misura alla grandezza dei suoi effetti. Questo numero, che chiamasi *coefficiente dell'elasticità*, si determina coll'esperienza, fissando per ogni corpo ridotto in fili il peso maggiore, che applicato all'estremità non fissa del filo, produca un allungamento che non cessa *affatto* tolto il peso. Già abbiamo visto come per la tempra si fa variare grandemente, almeno per certi corpi, l'elasticità. Ve ne son molti, come il ferro, il rame, il platino ec., che battuti a freddo, passati alla filiera, o al laminatoio, acquistano durezza ed elasticità. Importa di notare che queste nuove proprietà spariscono rincocendoli, che così riprendono la densità che avevano prima di esser battuti, e che per questa operazione erasi accresciuta.

Lo sviluppo dell'elasticità in un corpo non dipende solo dall'elasticità propria della materia che lo costituisce, ma ancora dalla sua forma, dalla posizione dei punti fissi, dal punto d'applicazione, e dalla direzione della forza. È chiaro che la flessione che un corpo può provare senza rompersi o senza deformarsi in un modo permanente, o, ciò che torna lo stesso, senza che s'allontanino le sue molecole al di là del limite dell'elasticità, è tanto più grande quanto più la forza è applicata a maggior distanza dai punti fissi, e quanto più le dimensioni del corpo parallele alla direzione della forza sono piccole relativamente alle altre. Da ciò la maggiore elasticità delle lamine e dei fili quanto più son sottili. Provate ad incurvare una lamina, e considerando l'allontanamento subito dalle molecole che trovansi sulla superficie convessa, intenderete facilmente, che sarà tanto più grande quanto più si prendono queste molecole lontane dalla superficie concava. V'è dunque per una data flessione una grossezza, alla quale le molecole son troppo allontanate, ed escono dai limiti dell'elasticità del corpo che s'incurva.

L'ipotesi che ci siam fatta sullo stato di equilibrio molecolare dei solidi, potrebbe spiegarci questo grado diverso d'elasticità nei corpi: nei diversi casi che abbiamo sin qui considerati può attribuirsi alla stabilità d'equilibrio delle molecole dovuta alle loro posizioni relative. Considerate le molecole dei corpi solidi come terminate da facce piane, e potrete comprendere facilmente, che facendo rotare una di queste molecole intorno ad un'altra, le posizioni d'equilibrio stabile ed instabile si succederanno alternativamente, e gli allontanamenti possibili dalle loro primitive posizioni d'equilibrio, senza che arrivino a nuove stabili posizioni, saranno rappresentati da quantità tanto più grandi, quanto più è piccolo il numero delle facce che terminano le molecole. Risovvenitevi ciò che si è detto dell'equilibrio stabile di un corpo posato sopra un piano. Supponete che questo corpo sia un prisma a tre facce: sarà in equilibrio stabile tutte le volte che toccherà il piano con una delle sue facce, e sarà instabile l'equilibrio quando lo toccherà con uno dei suoi spigoli. Questo prisma spostato non andrà a riposarsi sopra un'altra faccia, finchè la verticale del suo centro di gravità non sarà caduta di là dallo spigolo intorno di cui si fa rotare: abbandonatelo prima di giungere a questa posizione, e ritornerà al suo primo posto. Vi sono così, in questo caso tre posizioni d'equilibrio stabile e tre d'instabile. Fate un prisma di sei facce, si raddoppierà il numero delle posizioni di equilibrio, diminuendo l'estensione dell'intervallo fra una posizione e l'altra. Supponete che questo prisma diventi un cilindro a base circolare, e le posizioni d'equilibrio stabili ed succederanno in un modo continuo, il corpo sarà in equilibrio in tutte le posizioni, e non vi sarà mai caso in cui possa anche per poco spostarsi, senza prendere una nuova posizione. Dando facce piane alle molecole dei corpi solidi, supposto che nell'equilibrio molecolare dei solidi concorra la posizione relativa di queste facce, se si obbligano le molecole a scostarsi, a guardarsi diversamente colle loro facce, tuttociò che abbiam detto sull'equilibrio del solido posato sopra un piano, è applicabile all'equilibrio delle molecole dei corpi solidi. Quante più facce esse avranno, tanto più piccolo sarà lo spostamento che subiranno senza poter riprendere la loro posizione, cessata la forza aggiunta; saranno perciò tanto meno elastici, tanto più duttili quei corpi, nelle cui molecole supponiamo molte facce.

Nei corpi anche molto duttili, si sviluppa una grande elasticità allorchè son posti in uno stato di tensione con pesi applicati alle loro estremità, e fissati in cotale stato. Allontanati dalla loro posizione hanno una grande elasticità, e ritornano alla loro posizione dovuta al nuovo equilibrio molecolare prodotto dalle loro forze che tengono teso il corpo. Sgravesande ha fatto una serie

numerosa di esperimenti sopra l'elasticità dei fili delle lamine tese nel senso della loro lunghezza. Nell' apparecchio di Sgravesande si comincia dallo stirare la lamina o il filo fra due morse fissate sopra una tavola. Una laminetta di ottone è infilata nella lastra e nel filo, e termina in basso con un bacino che poi si carica di pesi, e in alto ha fisso un filo avvolto attorno ad una carrucola, che all' altra estremità ha un piccol peso che gli fa equilibrio. Porta la carrucola un indice che si muove sopra un quadrante. Quest' apparecchio è descritto nella *Fig.* 73. Caricando il bacino di pesi, il filo o la lamina A C B prende la forma della linea spezzata A *c* B, nella quale il punto *c* è al mezzo della lunghezza, e in cui le due parti A *c* e *c* B soffrono tensioni eguali. Mettendo nella bilancia diversi pesi, l'arco che descrive l' ago ci dà la distanza o saetta C *c*, da cui si deduce l'allungamento del filo. Per un dato peso cessa l' allungamento, allorchè è contrabbilanciato dalla tensione delle porzioni A C e C B decomposta secondo C *c*. Si moltiplica perciò, come c'insegna la Meccanica, questa forza di tensione che agisce secondo A C o C B per il coseno dell'angolo che essa fa colla direzione C *c* secondo la quale va decomposta. Sgravesande ha dedotto da queste esperienze una legge importante, che può esprimersi nel modo seguente: Allorchè un filo è stirato nel senso della sua lunghezza da un peso tale che non distrugge la sua elasticità, a modo che tolto il peso riprende la sua lunghezza, l' allungamento del filo così teso è proporzionale al peso, e ciò qualunque sia la sua tensione primitiva. Si ha da questa legge un risultato importante, ed è che in ogni corpo che riprende per elasticità la sua forma, la forza che si sviluppa per la variazione di distanza sofferta dalle molecole è proporzionale a questa variazione; per questa forza sviluppata oscilla intorno al suo piano d' equilibrio, e queste oscillazioni devono essere isocrone. Le oscillazioni sono in questo caso prodotte dall' azione continua delle forze molecolari che riconducono il corpo alla sua posizione; l' isocronismo delle oscillazioni è prodotto dall' esser la forza elastica proporzionale all' allontanamento subìto dalle molecole. La diminuzione d' ampiezza che si osserva successivamente in queste oscillazioni, e per cui si estingue il movimento, avviene anche nel vuoto, e prova che deve attribuirsi non solo alla resistenza dell'aria ma anche al movimento comunicato ai corpi che sostengono il filo.

Coulomb ha molto studiato l' elasticità sviluppata in un modo diverso da quello di cui abbiamo parlato sin qui. Sia A B (*Fig.* 79) un filo metallico sospeso per una sua estremità A, e teso da un peso P. Si fissi in questo peso un ago di cui l' estremità percorra il circolo diviso MN. È chiaro che deviando l' ago C D dalla sua posizione, e facendo girare il peso P sopra se medesimo, a modo che il filo resti nella verticale, le parti di questo filo saranno allontanate dalla loro posizione, e il filo sarà torto. Immaginatevi una serie di punti sopra una linea verticale presa sul filo; è chiaro che al torcersi del filo questi punti si allontaneranno dalla verticale, e tanto più quanto più si considerano lontani dal punto fisso A. Cessata la causa della torsione, ciascuno di questi punti tenderà a riprendere le sue posizioni primitive e a ritornare nella verticale del punto che gli è immediatamente superiore. Ma anche in questo caso giungeranno questi diversi punti alla loro posizione con una velocità acquistata, per cui oltrepasseranno e proseguiranno ad oscillare descrivendo archi sempre minori d' ampiezza, a mano a mano che il movimento si diffonde e nell'aria e nei corpi cui il filo è sospeso. Coulomb ha determinato le leggi della forza elastica sviluppata dalla torsione. Sono le seguenti:

1. La forza necessaria a torcere il filo, che è quella che si sviluppa allorchè ritorna alla sua posizione, è proporzionale all' angolo di torsione. Risulta da questa prima legge l' isocronismo delle oscillazioni con cui si ristabilisce in riposo.

2. Le durate delle oscillazioni sono fra loro come le radici quadrate dei pesi cilindrici, aventi tutti lo stesso raggio, che tendono il filo. Si dimostra in Meccanica che questa legge non può sussistere senza che la forza di torsione del filo non resti la stessa sotto i diversi pesi che lo tendono.

3. Le durate delle oscillazioni sono fra loro come le radici quadrate delle lunghezze dei fili. Se queste lunghezze sono espresse coi numeri 1, 4, 9, 16... fatte oscillare queste lunghezze del filo stirato dallo stesso peso, le durate delle oscillazioni sono fra loro come i numeri 1, 2, 3, 4. Poichè la durata delle oscillazioni aumenta colla lunghezza del filo, è evidente che la forza di torsione diminuisce come aumenta la lunghezza del filo. È questa una verità di cui facilmente potrete rendervi conto, osservando che per uno stesso angolo di torsione l' allontanamento delle molecole dalla linea verticale del punto fisso è ridotto a 1/2 quando la lunghezza del filo è doppia, a 1/3 se è tripla, e così ec.

4. Le durate delle oscillazioni sono in ragione inversa dei quadrati dei diametri dei fili. La formola che lega necessariamente

queste leggi è $T^2 = \frac{\pi^2 P R^2}{2 g F}$,

in cui π è il rapporto della circonferenza al diametro eguale a 3,141592, g la gravità, cioè 9,m8088, T la durata di un' oscillazione ridotta in secondi, P il peso del cilindro che tende il filo, R il raggio del cilindro di cui il peso è P, ed F la forza di torsione del filo. Coulomb ha fondato sopra questi principi la bilancia di torsione (*Fig.* 75), uno degli strumenti i più esatti che noi abbiamo per misurare le deboli forze che disponiamo convenientemente onde possano torcere il filo. Avremo occasione di adoperarla più innanzi. In ogni caso è certo che finchè l'angolo di torsione non ha oltrepassato un certo limite, l' angolo totale di torsione o l'arco percorso dall' ago C D, misurerà esattamente la forza che ha prodotta questa torsione, prendendo per unità quella che produce la deviazione di un grado. Una delle più belle applicazioni di questi principi sulla torsione, è quella che ne fece Cavendish nell' apparecchio (*Fig.* 15) che già abbiamo descritto, e con cui egli giunse a determinare la densità della terra. Il filo L che porta le due piccole sfere in quell' apparecchio è un filo d' argento, e capace di torsione. All'avvicinarsi delle grosse palle di piombo la leva h h' è deviata dallo zero, e si mette ad oscillare. Misurando la durata di ogni oscillazione può correggersi dell' effetto dovuto alla forza di torsione, e dedursi così la durata dell' oscillazioni della leva sotto la sola forza attrattiva delle masse di piombo.

Torcendo di molto il filo non ritorna più alla sua posizione, e le oscillazioni non si fanno più intorno al punto di partenza. Ai fili d' argento e d' ottone si sostituisce ora con vantaggio un filo di vetro estremamente sottile, tirato alla lampada.

Adesso che conosciamo i fenomeni e le leggi dell' elasticità, debbiamo tenerne conto nell' urto dei corpi. Esaminammo sin da principio ciò che doveva accadere nel caso di corpi assolutamente duttili o assolutamente duri, nel qual caso non poteva esservi per l'urto nessuno sviluppo di forza. Dopo l' urto i due corpi di cui i centri di gravità s' incontrano in linea retta, rimangono essi a contatto con una quantità di movimento eguale alla somma o alla differenza di quella quantità di cui erano animati prima dell' urto; cioè eguale alla somma se i movimenti erano nello stesso senso, alla differenza se erano in senso contrario. Non è più questo il principio dell' urto dei corpi considerandoli elastici. Al primo istante, anche in questo caso, i due corpi elastici che si urtano nei loro centri si comprimono, o non cessa la pressione se non quando le velocità son divenute eguali o si sono egualmente distribuite nelle due masse: in questo momento hanno la stessa velocità che avrebbero avuto se fossero solamente compressibili. Ma appena la compressione ha cessato, la forza elastica si sviluppa in ciascun di loro, e restituisce un grado di velocità proporzionale alla compressione sofferta. L' elasticità nel ricondurre i corpi alla loro prima figura, restituisce loro in senso contrario e passando pei medesimi gradi, la velocità che essi hanno perduta nella compressione. Ciò per altro si vuol intendere per quei corpi che hanno l' elasticità perfetta, e che cessato l'urto riprendono esattamente la loro primitiva figura. Il principio generale datoci dalla Meccanica sull'urto dei corpi elastici può annunciarsi in questi termini: la velocità dopo l' urto è uguale alla velocità iniziale, diminuita o aumentata del doppio della velocità che sarebbe perduta o guadagnata, se i corpi fossero perfettamente duttili. Possiamo con questi principi intendere molti casi importanti dell' urto dei corpi elastici. Se una palla d' avorio ne incontra un' altra eguale e che sia in riposo, le comunica tutta la sua velocità, e diviene immobile. Allorchè si hanno più palle, tutte sospese egualmente con fili ed a contatto, se si lascia cader la prima della fila sulla prossima, si vede muoversi la palla ultima dell'altra estremità come se fosse direttamente percossa, e le palle intermedie non mostrano il più piccolo movimento. Se le due palle estreme si lasciano cadere nello stesso tempo, si veggono, dopo l' urto sulle intermedie, risalire ai punti stessi da cui son discese. Non adoperando che poche palle di seguito, la comunicazione del movimento sembra istantanea; ma diventerebbe sensibile la durata di questa comunicazione, se il loro numero fosse grande. L'esperimento descritto ci prova che per contatto di due corpi, dobbiamo intendere che i corpi sono ad un intervallo estremamente piccolo e che non possiamo distinguere, nè molto meno misurare coi nostri sensi o istrumenti. Il movimento si propaga da una palla all' altra in seguito di successivi cangiamenti di forma per ogni palla: se il contatto fra una palla e l'altra fosse assoluto, tutta la serie delle palle, una delle quali è percossa, si moverebbe come un corpo rigido.

Allorchè noi abbiamo esposto i principî generali dell' azione delle forze sui corpi, abbiamo sempre parlato di verghe rigide, di serie di punti invariabilmente legati insieme. Ora noi conosciamo qual sia il va-

lore reale di queste espressioni. I corpi che abbiamo in natura non sono in realtà nè assolutamente duri, nè assolutamente elastici o duttili. Una forza che agisca sopra la superficie di un corpo, se questo è fisso ad un' estremità, lo comprime in quel primo punto da dove la pressione si propaga, e si risolve in una pressione sul punto fisso. Così per una serie di azioni e reazioni molecolari, di compressioni e di restituzioni di molecole al loro posto, il movimento si diffonde, e quindi impiega in questa diffusione un certo tempo.

Ci rimane a parlare della duttilità, della tenacità e durezza dei corpi. È impossibile di prevedere quanto variano queste proprietà nei corpi, secondo la natura e la direzione degli sforzi meccanici impiegati per svilupparle. E di qui viene che l'ordine secondo il quale i corpi cedono sotto il martello, al laminatoio o alla filiera, non è lo stesso per gli stessi corpi. La facilità a schiacciarsi senza rompersi sotto l'azione del martello, si trova nell'ordine seguente pei diversi metalli che nomino; *piombo*, *stagno*, *oro*, *zinco*, *argento*, *rame*, *platino* e *ferro*. Per la facilità più o meno grande a ridursi in fili, possono disporsi nell'ordine che segue: *platino*, *argento*, *ferro*, *rame*, *oro*, *zinco*, *stagno* e *piombo*. In fine per la facilità a ridursi in lame, si dispongono nell'ordine seguente: *oro*, *argento*, *rame*, *stagno*, *piombo*, *zinco*, *platino* e *ferro*. In generale la duttilità aumenta colla temperatura, e molti metalli si lasciano lavorare a caldo, mentre a freddo si romperebbero. Non mancano però anche in questo caso le eccezioni, posciachè il ramo si batte più facilmente a freddo che a caldo, e il piombo e lo stagno tanto duttili a freddo, si rompono sotto il martello ad una temperatura vicina alla loro fusione.

Chiamiamo durezza di un corpo la resistenza che oppone ad esser solcato, inciso da un altro. Questa resistenza non dipende solo dal grado di durezza del corpo incidente, ma ancora dall'angolo che gli si fa fare colla superficie del corpo su cui si applica, e dalla velocità che gli è data. Così una lima che rode facilmente il ferro dolce, è fortemente attaccata da un disco di ferro al quale si dà una grande velocità. È curiosa l'influenza che ha l'inclinazione di un cristallo di diamante a tagliare il vetro. Se le facce dello spigolo incidente di un diamante non sono egualmente inclinate sul vetro, questo non è che roso: si fende invece e si taglia, se queste facce sono egualmente inclinate. Il rubino e il zaffiro ridotti alla stessa forma di un cristallo naturale di diamante tagliano bensì del pari il vetro, ma non resistono lungamente perchè gli spigoli artificiali non hanno mai la durezza dei naturali.

LEZIONE XXVII.

Suono. — Cagione del suono. — Qualità principali del suono. — Come si propaga il suono per l' aria.

Le proprietà generali che abbiamo riconosciute nei corpi solidi, liquidi e gassosi, concorrono a provare che possiamo rappresentarci la materia in questi diversi stati, come composta di molecole ponderabili, che si trovano ad una certa distanza le une dalle altre, tenute in equilibrio dalle forze attrattive e ripulsive. Abbiam pur visto che questo stato d' equilibrio poteva essere nei corpi solidi momentaneamente turbato da un urto, da una pressione esteriore che obbligava le molecole a ravvicinarsi o ad allontanarsi fra loro, tendendo così verso un nuovo stato d'equilibrio, che al cessare dell'urto o della pressione esteriore non tardano le molecole a ritornare alle loro posizioni primitive, e che questo ritorno si fa con una serie di oscillazioni isocrone intorno a queste posizioni. Ora queste oscillazioni diminuiscono successivamente di ampiezza per la comunicazione del movimento *vibratorio* ai corpi vicini o alle molecole del mezzo in cui si fa; e se tali movimenti oscillatori hanno delle qualità che impareremo a determinare, se posson trasmettersi per un corpo interposto, che è generalmente l'aria, sino all' orecchio, ne risulta quella particolare sensazione che chiamiamo *suono*. La parte della Fisica che s'occupa di questo genere di fenomeni e delle sensazioni che essi producono, si denomina *Acustica*.

Cominceremo dal bene stabilire la cagion fisica di questo fenomeno. Un filo metallico fortemente teso è l'apparecchio il più semplice che ci serva allo studio che ora ci proponghiamo. Passate con un arco di violino trasversalmente sopra questa corda, o pizzicatela con un dito, e poi abbandonatela: all'istante sentirete un suono, e nello stesso tempo v' assicurerete coll' occhio che la corda è in vibrazione, che essa oscilla curvandosi successivamente da una parte e dall'altra intorno alla sua posizione rettilinea. Serratela fra le due dita, la vibrazione cesserà e il suono insieme. In generale queste oscillazioni sono tanto rapide che non

possono contarsi coll'occhio, ed è anzi per l'effetto di questa rapidità e della durata delle impressioni prodotte sull'organo della vista che la corda vi sembra rigonfiata specialmente nel suo mezzo. Così vi pare che la corda occupi nello stesso tempo tutte quelle posizioni che in realtà non occupa che successivamente. Esporremo più innanzi le leggi di queste vibrazioni: intanto posso mostrarvi che lasciando la corda poco tesa, sarebbe facile di contare coll'occhio le oscillazioni che fa in un dato tempo. Ma in questo caso un tal movimento vibratorio non produrrebbe suono, e solo col tendere maggiormente la corda il movimento vibratorio divien più rapido, e il suono si produce. Devo perciò concludere, e mille esperienze ce lo proveranno, che questo movimento vibratorio diviene sempre più rapido col crescere della tensione della corda. Intanto la qualità del suono varia corrispondentemente; il primo suono che dà la corda allorchè è ancor poco tesa, chiamasi un suono *grave*; a mano a mano che la tensione cresce, il suono divien sempre più *acuto*. Eccoci così ad un primo fatto, che offre la spiegazion fisica della gravezza ed acutezza dei suoni. Ma proseguiamo cogli esperimenti. Fate delle prove su corde di fili di diverse sostanze, di legno, di lino, di piombo, d'argento ec., e troverete che la facilità a dar suono, a darlo più o meno acuto, dipenderà dalla diversa forza elastica delle sostanze che le compongono, e dalla diversa rapidità del loro movimento vibratorio. Fissate in una morsa una lastra d'acciaio, incurvatela per la sua estremità libera, poi abbandonatela. Anche in questo modo vedrete la lastra ritornare in riposo facendo una serie di oscillazioni che saranno tanto lente da potersi contare, se la lastra è presa convenientemente lunga. In questo caso però le oscillazioni non produrranno alcun suono distinto. Ricominciate l'esperienza diminuendo successivamente le lunghezze della lastra vibrante; le vibrazioni si faranno tanto più rapide, che non potrete contarle, ed il suono contemporaneamente si renderà sempre più acuto. Spargete di sabbia una lastra di vetro che fisserete con una morsa in un punto qualunque della sua superficie; poi con un arco da violino strisciate lungo i suoi margini e cercate di cavarne un suono. All'istante vedrete i grani di sabbia respinti dalla lastra, raccogliersi in alcuni punti particolari che impareremo più innanzi a ben determinare. Empite d'acqua un bicchiere a calice, e col solito arco strisciate sull'orlo e cavatene un suono. La superficie dell'acqua s'incresperà in mille maniere diverse, si solleverà in alcuni punti, spruzzerà delle gocce da tutte le parti, in una parola tutto il liquido sarà in un movimento di vibrazione; provate a toccare con una mano una grossa campana di vetro che suoni, e sentirete il tremito prodotto dal suo moto vibratorio. Posate il *corista* che suona sopra un piano di legno o d'altro, e finchè suonerà lo vedrete saltellare sul piano come se fosse attratto o respinto da questo. Se prima di posarlo sul piano lo aveste stretto colla mano, non ne avreste avuto suono, essendosi così distrutto il suo movimento vibratorio. Vi citerò ancora un modo singolare di produrre un suono, e nel quale è evidentissimo il movimento vibratorio che ne è la cagione. Riscaldate una lastra di rame incurvata a doccia, e mentre è ancora assai calda posatela sopra uno o due prismi di piombo in modo, che la convessità della lastra tocchi gli spigoli. Fate che la lastra abbia nella faccia convessa un piccolo solco. Appena la lastra tocca il piombo si sente una specie di fremito, che si converte in un vero suono. La lastra di rame vedesi vibrare assai sensibilmente, e basta di toccarla leggermente con un corpo qualunque perchè cessi ogni suono: lasciata a sè, torna di nuovo a sonare. Accade qualche volta in questo caso che il suono non si rinnova, ed è quando lasciamo di toccarla senza comunicarle alcun movimento sensibile. Si ha anche il fenomeno scaldando una pinzetta di rame, e posandola su due prismi di piombo; ma la causa di questi movimenti di vibrazione è ancora oscura.

Di certo le esperienze citate vi provano bene evidentemente, che il moto vibratorio prodotto in un corpo elastico è la causa del suono, che questo moto vibratorio deve farsi con una rapidità determinata per produr suono, e che l'acutezza e la gravezza de'suoni dipendono dalla maggiore o minore rapidità di questo movimento vibratorio.

Ma non basta, per produrre un suono distinto, che le molecole di un corpo solido siano messe in vibrazione; non basta neppure che questo moto vibratorio si faccia con una certa rapidità. Percotendo un legno, una pietra, si sente anche in questo caso un colpo, un rumore, che è impossibile di poter paragonare con esattezza ad un altro suono. Il colpo secco, il rumore prodotto da una percossa, sveglia delle vibrazioni che si dissipano immediatamente, e il nostro orecchio non ha tempo di ben distinguerlo. Per la produzione del suono si esige dunque un movimento vibratorio di una determinata rapidità, e prolungato per un certo tempo in un modo regolare. Vede si da ciò che anche con una serie di colpi che si succedano rapidamente e ad interval-

li eguali di tempo, può ottenersi un suono. Posso mostrarvi con un apparecchio assai semplice, immaginato da Savart, questo secondo modo di produzione del suono. Consiste l'apparecchio in una ruota dentata mobile intorno ad un asse perpendicolare al suo piano, e che passa per il suo centro; un corpo flessibile come sarebbe una carta, è fermo in modo da incontrare i denti della ruota. Se fo girar la ruota molto lentamente, sentite distintamente i colpi successivi dei denti contro la carta; ma se fo crescere la velocità del movimento di rotazione, udite subito un suono che è continuo e di cui l'acutezza cresce colla velocità di rotazione.

Noi ora conosciamo bene qual' è la causa del suono, poichè sappiamo che è prodotto dalle vibrazioni rapide e continuate dei corpi elastici. Ma per qual mezzo queste vibrazioni giungono sino al nostro orecchio, come possiamo riceverne l'impressione? Nei maggior numero de' casi cotesta trasmissione si fa per mezzo dell' aria. D' altronde può farsi per mezzo di tutti i corpi compressibili ed elastici che si trovano interposti fra il centro delle vibrazioni e il nostro orecchio. È facile di provarvi che tolta l'aria ed ogni altro mezzo fra il corpo che vibra e noi, non si ha più il suono. Basta perciò di sospendere un piccol campanello in un recipiente di vetro per mezzo di alcuni fili di canapa non torta. Finchè il recipiente è pieno d'aria, non si ha che a scuoterlo per sentire il suono del campanello; ma se si estrae l'aria dal recipiente colla macchina pneumatica, e quindi si scuote di nuovo il campanello, non v'è più suono. Lasciate poi entrar l'aria a poco a poco, e il suono altresì a poco a poco ricomincerà. Introducendo altri gas invece dell'aria, il suono si produce egualmente, e fanno lo stesso ufficio dei gas i vapori di etere, d'alcool, d'acqua ec. Può a questo fine adoperarsi anche l'apparecchio espresso dalla *Fig.* 61: *ab* è la campana di un orologio sulla quale il martello *b* può produrre una serie di colpi per mezzo della molla contenuta nella cassa *m n*, e che un ordigno particolare tiene in riposo. Si pone il tutto sotto una campana da cui può estrarsi l'aria; la campana è fornita di una tubulatura superiore, attraverso della quale si muova una asta in modo così esatto da non lasciare entrar l'aria. Fatto il vuoto, si fa scattare la molla, e si vede il martello percuotere sulla campana senza che se ne abbia alcun suono. Anche i liquidi trasmettono il suono; ed è un'antica osservazione riferita da Franklin, di aver cioè udito, tenendo la testa sotto l'acqua, il suono prodotto in questo liquido alla distanza di un mezzo miglio. I corpi solidi pure trasmettono il suono: nelle miniere si giudica dal minatore della direzione in cui si fa lo scavo da un altro minatore, dai colpi che sente attraverso la grossezza del sasso. Applicate l'orecchio ad un trave di legno molto lungo, sull'altra estremità del quale si posi un orologio. Per l'intermedio del legno il suono dell'orologio ed i suoi colpi sono trasmessi all'orecchio. Devesi a questa trasmissione del suono pei corpi solidi il non distruggersi affatto il suono del campanello nel recipiente vuoto d'aria, e s'impiegano corpi flessibili, come il filo di canapa non torta, onde sospenderlo, perchè questi propagano malamente le vibrazioni.

Dobbiamo ora studiare più profondamente come possano propagarsi per l'aria le vibrazioni dei corpi sonori sino all'organo dell'udito. E siccome è ben chiaro che la continuità delle vibrazioni non fa che rendere questa trasmissione continua e durevole, basterà, per considerare il fenomeno nella sua maggiore semplicità, di esaminare come si propaghi una sola vibrazione, un colpo istantaneo, qual sarebbe l' esplosione di un' arme da fuoco. Sa ognuno che il rumore prodotto da un tal colpo, o il suono in generale, non si sente ad una certa distanza nel momento stesso in cui parte il colpo, e che il tempo impiegato a percorrere un certo spazio, cresce con questo. Improvvisamente l'aria posta ad una distanza qualunque dal centro d' esplosione entra in vibrazione, persiste in questo stato per un istante, poi il rumore cessa per quel punto, e l'aria rientra in calma. Potete aver un esempio di questo modo successivo di propagazione, nell'agitazione prodotta sulla superficie di una grande massa d'acqua da un corpo che vi cade dentro. Se non che la causa della trasmissione è ben diversa nei due casi; nell' acqua il moto ondulatorio è continuato dalle molecole sollevate che ricadono sulle basse, e nell'aria il movimento è trasmesso per la sua elasticità. Consideriamo, per maggior semplicità, una colonna cilindrica d'aria indefinita in un senso, e terminata all'altra estremità da un piano mobile perpendicolare all'asse del cilindro, e supponiamo che questo piano sia spinto innanzi nel cilindro di una quantità infinitamente piccola, e in un intervallo di tempo ancora infinitamente piccolo. Se l'aria non fosse compressibile, all' istante una porzione della colonna d'aria escirebbe all'altra estremità; ma poichè l'aria si lascia comprimere, il movimento non si può trasmettere direttamente che dentro uno strato di questa colonna estremamente piccolo. Supponiamo divisa la colonna d'aria in tanti strati egua-

li fra loro, e tutti lunghi come quello nel quale la compressione si estende direttamente nel tempo indefinitamente piccolo del movimento del piano. La Meccanica dimostra che quella prima compressione l trasmette successivamente da uno strato all'altro, che ognuno di questi dopo aver compresso il successivo riprende esattamente la sua densità primitiva, e ritorna in quiete. Un tal fenomeno può rappresentarsi in un modo analogo a ciò che abbiamo visto accadere ad una serie di palle d'avorio tutte eguali e disposte l'una accosto all'altra, e coi loro centri situati sopra una stessa retta, allorchè una delle due palle estreme è urtata nel suo centro da una palla simile. Si ha un'idea esatta di questo movimento, immaginando di far muovere nella colonna d'aria parallelamente a se stesso, uno strato d'aria infinitamente sottile e successivamente soggetto a comprimersi, a condensarsi, poi a dilatarsi e a riprendere la sua densità primitiva. Se avessimo supposto un movimento contrario nel piano, è chiaro che si sarebbe prodotta nello strato contiguo d'aria una rarefazione, che si sarebbe comunicata successivamente agli altri strati della colonna, nel modo stesso delle condensazioni prodotte dal primo movimento del piano. Ogni escursione del piano produce un'onda *condensata* infinitamente piccola, ogni escursione in senso contrario o ritorno del piano produce un'onda eguale *rarefatta* infinitamente piccola. L'analisi dimostra che queste onde elementari si trasportano colla stessa velocità, e che questa velocità è per un dato mezzo indipendente dal grado di condensazione e di dilatazione delle onde.

Veniamo al caso in cui la durata di questi movimenti del piano o vibrazioni è una quantità finita, per quanto piccola si voglia supporre. Sia $a\,b$ (*Fig.*63) la posizione primitiva del piano, ed $a'b'$ a'' b'' i limiti delle sue escursioni. Dividiamo la escursione totale $a'a''$ in un grandissimo numero di parti eguali che verranno a rappresentarci degli spazi infinitamente piccoli percorsi dal piano in intervalli di tempo infinitamente piccoli. In questo modo siamo ricondotti al caso precedentemente studiato. Difatti sia il piano in a' b', e si avanzi percorrendo il primo strato: produrrà nell'aria una prima onda elementare condensata che si propagherà successivamente nella colonna d'aria e nel modo che abbiamo descritto. Lo stesso piano percorrendo lo strato successivo d'aria già ritornato al suo stato naturale, darà luogo ad una seconda onda elementare condensata, che si moverà al seguito della precedente e colla stessa velocità. Giunto alla fine in a'' b'' dopo aver percorso tutti i piccoli strati intermedi, avrà prodotto una serie di onde elementari condensate che si estenderanno nello spazio a'' x, e che collo stesso ordine e velocità seguiteranno a propagarsi nell'aria. Se ora ammettiamo che il piano ritorni da a'' b'' in a' b', ad ogni istante infinitamente piccolo della sua corsa in addietro produrrà un'onda elementare dilatata, e la serie di queste onde, dovute alla escursione totale o ritorno del piano, produrrà un'onda dilatata che camminerà di seguito all'onda condensata. Ripetendo il piano questi movimenti di andata e ritorno che appunto ci rappresentano i movimenti vibratori dei corpi sonori, continueranno a prodursi delle onde condensate e dilatate che si seguiranno l'una all'altra.

Ci rimane a conoscere la lunghezza di queste onde, il loro rapporto col movimenti vibratori del corpo sonoro, e la natura dei piccoli movimenti e dei gradi di condensazione e di rarefazione che hanno luogo nelle onde elementari.

È facile di trovare la lunghezza dell'onda: nell'onda condensata a'' b'' x y, x y è l'onda elementare prodotta dal primo movimento del piano a' b', ed è perciò il confine dell'onda totale prodotta dalla vibrazione. La lunghezza di quest'onda è dunque misurata dallo spazio percorso da quell'onda elementare nel tempo che il primo piano $a\,b$ ha impiegato per giungere in $a''b''$ diminuito della lunghezza $a'a''$, che è l'escursione totale del piano mobile. La velocità del corpo vibrante essendo sempre assai piccola in confronto di quella con cui si propaga l'onda elementare, può l'ampiezza della vibrazione trascurarsi rispetto allo spazio percorso nel tempo di questa vibrazione dall'onda elementare aerea. Si ha perciò la misura della lunghezza dell'onda, dallo spazio che il suono ha percorso nel tempo di una vibrazione del corpo sonoro.

Per intendere con qual ordine variano le densità e velocità nelle onde elementari che costituiscono l'onda totale, basta di riflettere che queste onde elementari si succedono nello stesso ordine dei movimenti elementari che le producono, e che in ciascuna di esse le velocità delle molecole sono proporzionali ai gradi rispettivi di condensazione e di dilatazione. Assomigliate la vibrazione di un corpo sonoro al movimento di un pendolo: se il movimento cambia di direzione alla fine di un certo tempo, è forza che la velocità diventi nulla dopo aver diminuito gradatamente. Per la molecola di un corpo sonoro in vibrazione, la velocità di cui è animata è massima al mezzo dell'escursione, e diminuisce a misura che si avvicina ai punti estremi dell'escursione,

Basterà questo per intendere che i moti elementari di vibrazione i più vicini al mezzo dell'escursione, devono produrre le onde elementari le più compresse, e quelle per conseguenza che sono animate dalla maggiore velocità: al contrario queste condensazioni e velocità vanno sempre diminuendo per quelle onde elementari che sono prodotte dai movimenti elementari di vibrazione, prossimi ai limiti dell'escursione. Sussiste per l'onda dilatata quello che abbiam detto per l'onda condensata; nel mezzo di ognuna di queste onde trovasi il massimo di dilatazione, ed insieme il massimo di velocità: la velocità è di segno contrario nell'onda condensata rispetto a quella dell'onda dilatata. Potremo così rappresentarci le condensazioni e velocità in ogni punto di di un'onda per mezzo delle ordinate di una curva, ed avremo in tal guisa delle curve che esprimeranno l'onda condensata e dilatata, come veggonsi nella *Fig.* 62.

Si passa facilmente dal movimento delle onde sonore in un cilindro a quello del loro movimento in tutte le direzioni intorno ad un punto o centro del movimento. La velocità delle molecole d'aria che oscillano decresce in questo caso rapidamente a misura che cresce la distanza dal centro, perchè il movimento si propaga per onde di cui l'estensione va sempre aumentando. La larghezza dell'onda rimane costante: o, ciò che torna lo stesso, la base della curva (*Fig.*62) riman costante, mentre le ordinate rappresentanti la velocità delle onde elementari diminuiscono, e la curva $a\,x\,y\,z$ s' abbassa in $a'\,x'\,y'\,z'$.

È un principio importante a bene intendersi quello della distinzione fra l'intensità e l'acutezza del suono, e perciò a suo tempo torneremo a parlarne più estesamente: basta intanto di ben intendere che la lunghezza dell'onda prodotta nell'aria dal corpo sonoro è misurata sempre dallo spazio che il suono percorre nel tempo che il corpo fa una vibrazione. Rimane perciò costante questa lunghezza rimanendo costante la rapidità o numero delle vibrazioni fatte in un dato tempo. La diversa ampiezza delle vibrazioni produce una diversa velocità nei diversi istanti, e quindi una diversa velocità nelle onde elementari prodotte nell'aria.

Ho creduto utile di molto insistere sopra questo soggetto, perchè assai importa di ben comprendere il modo di propagazione del suono per l'aria. Vedremo più innanzi che anche per la luce dovremo ricorrere a considerazioni di questo genere.

LEZIONE XXVIII.

Velocità del suono nei gas, nei liquidi e nei solidi. — Intensità del suono. — Riflessione del suono. — Eco. — Principio della sovrapposizione dei piccoli movimenti.

Newton il primo, sottomettendo all'analisi il modo di trasmissione del suono che già abbiamo studiato, ha data la formola che esprime la velocità con cui il suono si trasmette. Questa formola è $V = \sqrt{\frac{g\,A}{D}}$, in cui g rappresenta la gravità, A l'altezza o pressione barometrica, D la densità dell'aria presa rispetto al mercurio. Risulta da questa formola: 1.° che in una massa d'aria a temperatura costante la velocità del suono è uniforme, o, ciò che torna lo stesso, il punto dove giunge l'ondulazione prodotta nell'aria dalla vibrazione del corpo sonoro si trova sempre ad una distanza dal punto di partenza proporzionale al tempo che è trascorso dall'origine del movimento; 2°. questa velocità rimane la stessa qualunque sia la densità dell'aria, variando, per la legge di Mariotte, la forza elastica proporzionalmente alla sua densità; 3°. questa velocità del suono è affatto indipendente dalla sua intensità e dall'acutezza; 4°. nell'aria atmosferica alla temperatura di 0°, il suono percorre, secondo quella formula, uno spazio di 286,*m*78 per ogni secondo. Tutti questi risultati sono confermati dall'esperienza, ad eccezione dell'ultimo. L'eguaglianza della velocità del suono sotto pressioni diverse, è provata da esperienze di confronto fatte a Parigi e a Quito sotto pressioni barometriche varie da 0,*m*76, a 0,*m* 697. L'eguaglianza della velocità dei suoni più o meno gravi, più o meno forti, è evidentemente dimostrata da una esperienza giornaliera. Allorchè si sta ad udire un pezzo di musica suonato da un istrumento, ovvero cantato, a qualunque distanza che questo avvenga, purchè le onde sonore conservino un'intensità sufficiente, non v'è alcuna alterazione nel periodo musicale; ciò che esige necessariamente che i diversi suoni sieno propagati colla stessa velocità. Nel 1738 i Membri dell'Accademia di Parigi tentarono molte esperienze onde determinare la velocità reale del suono. Un colpo di cannone era tirato ad una delle stazioni, e si contava all'altra l'intervallo di tempo scorso fra l'apparizione del lampo e il momento in cui

si era sentito il rumore. Il tempo che impiega la luce per trasmettersi per lo spazio di qualche lega è tanto breve, da potersi affatto trascurare: si ha perciò la velocità del suono dividendo la distanza delle due stazioni pel numero dei secondi scorsi fra l'apparizione del lampo e l'arrivo del rumore all'orecchio. Confrontando un gran numero d'osservazioni, riconobbero quegli illustri Accademici 1. che infatti la velocità del suono era uniforme, cioè che lo spazio percorso era in generale proporzionale al tempo impiegato; 2. che questa velocità era la stessa fosse il cielo sereno annuvolato o nebbioso, fosse piccola o grande la pressione atmosferica; 3. questa velocità fu trovata alla temperatura di $+6°$. R. eguale a 337,m18. Delle osservazioni fatte in seguito per ordine del *Bureau* delle Longitudini, hanno dato per queste velocità 337,m2 alla temperatura di $+10°$. C.

Ma era riservato al genio di Laplace di scoprire la causa di questa discrepanza fra la teoria di Newton e il risultato dell'esperienza. Il movimento che costituisce il suono non può propagarsi in un mezzo elastico qualunque, senza che avvengano compressioni e dilatazioni fra le sue molecole; i quali fenomeni, siccome vedremo, non posson succedere senza che abbia luogo una variazione brusca di temperatura, da aumentare il rapporto dell'elasticità dell'aria alla sua densità. È vero che la temperatura non è mai alterata in una massa d'aria per la propagazione del suono, a modo da aversi variazione nel termometro anche il più sensibile; ma ciò non toglie che non avvenga successivamente, fra due molecole vicine, uno sviluppo e un assorbimento di calore che rimane perciò insensibile al termometro. L'elasticità dell'aria in cui il suono si propaga non è dunque più esattamente rappresentata dalla legge di Mariotte per le variazioni successive della sua temperatura. Biot ha immaginato un'esperienza per provare questo sviluppo di calore nella propagazione del suono attraverso di un fluido elastico. Vedremmo più innanzi che in un dato spazio saturo di vapore, la piccola diminuzione di volume che non è accompagnata da un aumento di temperatura, vi produce la liquefazione di una porzione del vapore. Viene da ciò, che non potendo il suono propagarsi senza cominciare dal produrre una condensazione, dovrebbe convertirsi in liquido una porzione del vapore, per cui non essendovi sviluppo di forza elastica, cesserebbe la propagazione per mancanza dell'ondulazione dilatata che succede alla compressa. Ma poichè col fatto abbiamo visto che in queste circostanze avviene la trasmissione del suono, convien concludere che v'è in questo fenomeno sviluppo di calore, che impedisce la liquefazione. Risovvenitevi infatti che nel pallone vuoto d'aria, e in cui il campanello scosso non produceva più suono, bastava, per ottenerlo, d'introdurvi dell'etere e di empire quello spazio del suo vapore. La correzione introdotta da Laplace in seguito di queste considerazioni, ci dà la formola del suono trovata da Newton, espressa

nel modo seguente; $V = \sqrt{\frac{gA}{D}}\,K$, in cui K è il quoziente del calorico specifico del gas a pressione costante pel suo calorico specifico a volume costante. Più innanzi intenderemo il valore di questo termine K.

La stessa formola di Newton ci dà la velocità per gli altri gas, che hanno una densità diversa da quella dell'aria. Non potendosi determinare direttamente questa velocità come s'è fatto per l'aria, onde dedurne la correzione dovuta alle variazioni di temperatura, si è dovuto ricorrere, per ottenere questa velocità, al suono ottenuto dai tubi pieni di gas diversi. Fra breve conoscerete che anche in questo modo può determinarsi la velocità di propagazione del suono: intanto darò qui i risultati ottenuti dal celebre Dulong in un lavoro fatto sul calorico specifico dei gas.

Aria atmosferica	*velocità*	333, m per 1''
Gas ossigene. . .	»	317,17 »
Idrogene. . . .	»	1269,5 »
Acido carbonico. .	»	216,6 »
Ossido di carbonio .	»	337,4 »
Ossido d'azoto. . .	»	261,9 »

La temperatura alla quale queste velocità son determinate è costantemente la stessa, e quindi queste velocità sono indipendenti dalla pressione.

Anche i corpi solidi e i liquidi di cui abbiamo dimostrata la compressibilità, e l'elasticità, trasmettono il suono. Laplace ha trovata la formola generale che dà la velocità di propagazione nei liquidi e nei solidi.

Questa formola è $V = \sqrt{\frac{g}{E}}$, in cui g è l'intensità della gravità che sappiamo essere eguale a 9,m8088, ed E è la quantità di di cui s'allunga o s'accorcia una colonna del corpo che si considera, avente per altezza un metro, cioè l'unità di lunghezza, e sottoposta all'influenza di una trazione o pressione eguale al peso della stessa colonna. Imparammo già a determinare di quanto i liquidi si comprimono sotto il peso di un'atmosfera. Vedemmo che l'acqua sotto il peso

di un'atmosfera si comprime di 47,85 milionesimi del suo volume: per cui una colonna d'acqua lunga un metro si comprimerebbe di 47,85 milionesimi di un metro in un tubo privo affatto d'elasticità. Sappiamo che il peso di un'atmosfera equivale al peso di una colonna d'acqua 10,m2931, e che perciò una colonna d'acqua di un metro sottoposta ad un peso eguale al suo, soffrirebbe una diminuzione di 0,m0000046486. Questo è adunque il valore di E per l'acqua, che sostituito nella formola di Laplace ci dà la velocità del suono nell'acqua, eguale a 1453 m per secondo a $+ 10°$ C. Con questo stesso processo si può determinare la velocità del suono in altri liquidi. Daremo alcuni dei numeri ottenuti da quella formola.

Nome dei liquidi.	*Densità.*	*Compressibilità sotto il peso di un'atmosfera in millionesimi del volume primitivo.*	*Velocità del suono in un secondo espressa in metri.*
Etere solforico	0,712	131,35	1039
Alcool	0,795	94,95	1157
Etere idroclorico	0,874	84,25	1171
Acqua	1,	47,85	1453
Mercurio	13,544	3,38	1484
Acqua satura d'ammoniaca	0,9	33,05	1842

L'acqua è il solo di questi liquidi che siasi potuto sottoporre ad esperienze dirette. Colladon ha trovato che la velocità del suono nell'acqua del lago di Ginevra è di 1435 metri per secondo, numero poco diverso da quello dato dalla teoria. L'esperienza era fatta per mezzo di una grossa campana sospesa ad un battello, ed immersa nell'acqua. Una leva falcata era disposta in modo da spingere un martello contro la campana, nell'istesso tempo che appiccava fuoco fuori dell'acqua ad una massa di polvere; si aveva così un segnale di luce che indicava l'istante di partenza del suono. Un tubo cilindrico di lamiera di ferro chiuso nella parte che stava fuori dell'acqua ad eccezione di una piccola apertura contro cui veniva applicato l'orecchio, ed immerso nell'acqua coll'altra estremità, serviva a far sentire distintamente il suono prodotto sotto l'acqua anche alla distanza di quattro leghe.

Biot si è proposto di determinare la velocità di propagazione del suono nella materia solida dei tubi o condotti di acqua. Facendo suonare un istrumento o producendo un suono qualunque ad un'estremità del tubo, l'orecchio applicato all'altra estremità sente due suoni distinti, uno dei quali è trasmesso per la colonna d'aria interna, l'altro, che giunge assai più rapidamente, si propaga per la parete del tubo. Lo stesso Biot trovò in un'esperienza, che la velocità del suono nel ferro fuso era dieci volte e mezza maggiore di quella del suono nell'aria. Questa velocità del suono nei solidi può essere anche determinata dal suono prodotto da una lastra o verga qualunque.

L'*intensità* del suono dipende dall'ampiezza delle oscillazioni o vibrazioni del corpo sonoro, e non già dal numero o rapidità delle vibrazioni; e questo fatto risulta da un'esperienza assai facile. Lo stesso suono può conservare lo stesso grado di acutezza e di gravezza, e prendere un'intensità più o meno grande, facendo variare l'ampiezza delle vibrazioni che lo producono e quindi la velocità d'oscillazione delle piccole onde elementari. È così che una corda tesa dà successivamente i suoni di diversa intensità allorchè è più o meno allontanata dalla sua posizione d'equilibrio: vedremo più innanzi che non varia perciò l'acutezza del suono, rimanendo costante la durata dell'oscillazione. Considerando l'effetto prodotto dalle onde sonore sull'organo dell'udito, effetto che è analogo all'urto di un fluido contro un ostacolo fisso, l'intensità del suono è proporzionale al quadrato della velocità dei movimenti elementari, e quindi al quadrato della velocità media delle oscillazioni del corpo sonoro. Ne segue che l'intensità del suono deve esser proporzionale al quadrato dell'ampiezza delle oscillazioni. La diminuzione dell'intensità del suono al crescere della distanza dal corpo sonoro, è una conseguenza necessaria del suo modo di propagazione. Già abbiamo visto che a misura che ci allontaniamo dal centro del movimento, le velocità diminuiscono rapidamente propagandosi il movimento a onde, di cui la massa va sempre aumentando. Si dimostra col calcolo che le velocità delle molecole d'aria situate sopra uno stesso raggio sonoro, cioè nella stessa linea retta tirata dal centro del movimento, sono in ragione inversa delle distanze a questo centro.

Da ciò risulta che l' intensità del suono sopra uno stesso raggio sonoro dove decrescere proporzionalmonte al quadrato della distanza. Invece in un tubo cilindrico, essendo costante la sezione della colonna, l' intensità del suono rimarrà la stessa, le onde sonore avendo in tutti i punti la stessa estensione. Biot confermò coll'esperienza questo resultato della teoria: l' intensità del suono all' estremità di un cilindro d' aria di 951 metro di lunghezza, fu trovata la stessa che ad una distanza estremamente piccola in confronto di quella.

Le leggi della propagazione del suono e delle sue intensità sono modificate dai venti. Risulta dalle esperienze di Delaroche, 1.° che il vento non influisce sensibilmente sui suoni sentiti ad una piccola distanza; 2.° che allorquando questa distanza è grande si sente il suono meno bene in una direzione contraria a quella del vento che nella direzione del vento, e che la differenza aumenta colla distanza. Di questi fatti non si è per anche data la spiegazione; o quando si riflette che la velocità del vento il più impetuoso è sempre estremamente picrola in confronto di quella del suono, non si può render ragione di tali fenomeni ricorrendo al movimento dell' aria. Ci rimane ancora da spiegare un altro fatto, ed è l' accrescimento dell' intensità del suono nella notte. Potrebbe credersi che ciò accadesse per la mancanza di quegl' infiniti rumori che hanno luogo nel giorno: ma Humboldt ha verificato che questo aumento, più grande nelle pianure che sui monti, appena sensibile in alto mare, non era in realtà dovuto alla causa che abbiamo accennato. Difatti l'illustre viaggiatore trovò che questo fenomeno era vero anche nelle grandi foreste in cui il rumore è forse maggiore nella notte che nel giorno, pel ronzio degl' insetti. Si è pure voluto spiegare questo fatto ammettendo che le correnti d'aria che si sollevano dal suolo per l' azion solare, rendono diseguale nei diversi punti la densità dell'aria. La propagazione del suono attraverso a questi strati di densità diversa soffre così riflessioni ripetute, che ne diminuiscono l' intensità. Una tale spiegazione sembrami assai poco d'accordo colla osservazione fatta, che cioè il fenomeno sussiste anche nelle foreste, ove di certo mancano queste correnti d' aria. Oltre di ciò vedremo più innanzi che l' esistenza di queste correnti è limitata ad altezze assai più piccole di quello che non si suol credere generalmente.

Rispetto alla propagazione del suono in una massa d' aria composta di strati di diversa densità, si dimostra dalla Meccanica che, a distanza eguale, la sua intensità dipende unicamente dalla densità dello strato in cui l' ondulazione ha cominciato. Quindi è che in un globo areostatico si sente il rumore fatto alla superficie della terra come se si fosse su questa, ad una distanza orizzontale eguale a quella in cui si trova verticalmente il pallone: e così il rumore fatto all' altezza in cui si trova il pallone, si ode alla superficie della terra come se si fosse nello strato atmosferico in cui questo si trova, e perciò divieno assai più debole del primo. Nei diversi gas l'intensità del suono cresce colla loro densità, ed in ognuno di questi dipende sempre, come per l' aria, dalla densità del punto in cui il suono è prodotto. Questa intensità del suono nei diversi gas può altresì dimostrarsi coll' esperienza producendo uno stesso suono in una campana successivamente piena di diversi gas.

Per non ommettere cosa che attenga alla propagazione del suono, mi è d'uopo tenervi anche discorso delle leggi della sua riflessione. Allorchè le onde sonore che si propagano in un fluido elastico incontrano un ostacolo fisso, o una superficie di separazione fra questo fluido e un altro di densità diversa, vi è *riflessione*, cioè le onde sonore al propagano allontanandosi dall' ostacolo in una direzione contraria a quella che hanno le onde che lo incontrano direttamente. La legge della riflessione del suono è quella stessa a cui obbedisce la luce: il suono riflesso è, quanto alla sua direzione ed intensità, lo stesso che sarebbe se il centro del movimento vibratorio o l' origine del suono fosse al di là del piano, e ad una distanza eguale a quella, alla quale realmente si trova di quà dal piano il centro di vibrazione. Il fatto della riflessione del suono, è reso evidente dagli *echi*. Vi sono echi multipli dipendenti da diversi ostacoli talmente disposti, che, per le riflessioni successive che si operano alla loro superficie, respingono all' orecchio lo stesso suono in tempi diversi e con intensità sempre decrescenti. L'esperienza prova che l'orecchio non può distinguere che dieci suoni per secondo, o, ciò che torna lo stesso non può scorgere distintamente la successione di due suoni se l'intervallo di tempo che li separa non è almeno di 1/10 di secondo: e poichè il suono percorre 333 metri per secondo, due suoni successivi non possono esser distinti senza che siano propagati a 33 metri almeno di distanza l'uno dall'altro. Un osservatore che produce un suono dirimpetto ad un ostacolo piano, capace di rifletterlo e far eco, dovo perciò esser posto almeno 16m, 5 da quest'ostacolo, essendo così di 33m la strada che il suono deve fare per giungere dalla sua origine al

piano e poi all' orecchio. In generale è secondo la diversa distanza dal piano di riflessione, che un suono composto di un certo numero di sillabe dà un eco che ripete un numero diverso di queste sillabe. Se l'ostacolo è molto vicino, i suoni riflessi si confondono coi suoni diretti e non fanno che prolungarli e rinforzarli, come accade in un appartamento, o nelle sale comuni da spettacolo. Si costruiscono delle superficie curve che, per le riflessioni che esse producono, concentrano in un sol punto le ondulazioni partite da un altro. V'è una sala nel Conservatorio delle arti e mestieri di Parigi, in cui ponendosi ad uno degli angoli sentonsi distintamente le parole pronunziate all' estremità opposta delle sala a voce assai bassa, mentre una persona posta in mezzo non le sente. La forma della volta è la causa di questo fenomeno: e dopo ciò che abbiam detto è facile intendere, che se questa volta è la superficie di un'ellissoide di rivoluzione, il suono prodotto *ad uno dei fochi* deve sentirsi più distintamente all'altro foco, che in qualunque altro punto della sala.

Un tubo fatto a cono, detto *porta-voce*, che serve molto utilmente a favorire la propagazione del suono in una certa direzione aumentandone la sua intensità, può concepirsi col principi della riflessione del suono. Certo è che per la forma conica delle pareti interne del tubo, le riflessioni del suono operate da questa pareti obbligano le onde sonore a ravvicinarsi sempre più alla direzione di un piano perpendicolare all'asse, per cui facendosi sempre meno divergenti, decrescono anche meno nell' allontanarsi dal centro del movimento. Convien però confessare che una tale spiegazione è insufficiente, se si osserva che il portavoce rinforza il suono anche nel caso in cui il tubo non è conico, ma cilindrico: oltre di che poi quella spiegazione non ci rende conto dell' influenza dell'imboccatura un po'allargata che si dà utilmente all' istrumento.

I *cornetti acustici* sono tubi conici più o meno ricurvi, o che perciò devono agire come il porta-voce. Anche in quest'istrumento l' estremità più larga del cono riceve e propaga il suono nella direzione dell' asse con un' intensità molto più grande che in ogni altra direzione. Poisson avrebbe spiegato l' effetto di questi strumenti. Risulta dal calcolo che allorchè una colonna d'aria contenuta in un tubo è messa in vibrazione ed una delle sue estremità, l'ampiezze dei movimenti ondulatori all' altre estremità dipende dalla forma del tubo, e può divenirvi nella direzione del suo asse più grande di quello che sarebbe, se il movimento vibratorio vi fosse giunto direttamente. Quest'aumento di velocità impresso alle molecole fa dunque che queste agiscano energicemente sull' aria circostante, e quindi sull' organo dell' udito.

In tutto ciò che dicemmo della propagazione del suono, abbiamo ammesso tacitamento che le onde sonore partite nello stesso tempo de diversi punti, potessero propagarsi insieme senza confondersi, senza alterarsi in alcun modo. E di vero i suoni prodotti dai diversi strumenti di un' orchestra non provano per la loro simultaneità alcuna alterazione, e ciascuno di questi suoni produce sopra di noi la stessa sensazione che produrrebbe se fosse solo. Questa conseguenza dell'osservazione è pure un risultato della teoria, conosciuto in Meccanica sotto il nome di principio della *sovrapposizione dei piccoli movimenti*. In virtù di questo principio si propagano le onde formate sopra diversi punti della superficie dell'acqua, incrociandosi in tutti i sensi senza punto alterarsi. Per questo principio la velocità di una molecola d' acque, secondo una direzione qualunque, è ad ogni istante la somma delle velocità che corrispondono a tutte queste onde considerate separatamente; il che si può concepire perchè per la natura estremamente piccola di questi movimenti, si possono trascurere i loro prodotti e le loro potenze superiori alla prime.

LEZIONE XXIX.

Qualità dei suoni. — Numero assoluto delle vibrazioni di un suono. — Scala musicale — Suo valore fisico. — Accordi. — Suoni armonici. — Causa degli accordi. — Fenomeno dei battimenti.

Dopo avere ben provato che il suono è sempre dovuto alle vibrazioni di un corpo elastico, dopo avere imparato a determinare il modo con cui si propaga sino al nostro orecchio, importa d' imparare a ben distinguere le qualità dei suoni, e di determinare quale è il valor fisico dei diversi suoni componenti il *periodo musicale*.

Già abbiamo visto che il grado di gravezza e d'acutezza di un suono dipende unicamente dal numero delle vibrazioni che lo producono in un dato tempo, e quindi dalla velocità di queste vibrazioni. E quanto alla sua intensità trovammo che deve attribuirsi all' ampiezza delle vibrazioni dei corpi sonori. Distinguiamo poi nel suono un' altra qualità, cui si dà il nome di *timbro*, per la quale gli stessi suoni sotto il rapporto dell'intensità e dell' acutezza, differiscono gli uni dagli altri, se sono ottenuti da varî strumenti.

Possediamo diversi mezzi onde determi-

nare il numero assoluto delle vibrazioni che corrispondono ad un dato suono, di cui in breve impareremo ad avere il valor musicale. Può adoprarsi a quest'effetto una lastra vibrante libera ad una sua estremità, e fissa all'altra con una morsa. La teoria indica che il numero delle vibrazioni trasversali che fa questa lastra varia in ragione inversa dei quadrato della lunghezza della sua porzione vibrante; e l'esperienza ha confermato questa legge. Supponiamo dunque di misurare la lunghezza L della lamina, allorchè essa fa un numero N di vibrazioni che possono contarsi coll'occhio: si scorcia la lunghezza della lastra che si seguita a far vibrare, sicchè si giunge a cavarne quel suono di cui si sa il valor musicale, e di cui vuolsi determinare il numero corrispondente delle vibrazioni. Basta allora di misurar la lunghezza l della lamina che dà il suono, e si ha per determinare il numero delle vibrazioni la proporzione $N : x :: l^2 : L^2$, da cui si ha $x = N.\frac{L^2}{l^2}$. Un altro metodo onde determinare il numero delle vibrazioni che corrisponde ad un dato suono, è quello di servirsi di una corda stirata per mezzo di pesi e fissa ad una estremità, come vedesi nella *Fig.* 65. La Meccanica ci dà con una formola assai semplice tutte le leggi del movimenti di una corda vibrante. Questa formola è $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$ in cui n è il numero delle vibrazioni trasversali in 1", che si ottengono strisciandovi sopra trasversalmente un arco da violino, l la sua lunghezza, r il suo raggio, d la sua densità, P il peso che la stira, e π il noto rapporto della circonferenza al diametro. Vedesi da questa formola che il numero delle vibrazioni cresce diminuendo la lunghezza della corda vibrante, per cui facilmente può giungersi, variando questa lunghezza, ad ottenere il suono di cui si cerca il numero delle vibrazioni che gli corrisponde. Ma il più esatto e il più ingegnoso di tutti i mezzi coi quali si può ottenere il numero assoluto delle vibrazioni che corrispondono ad un dato suono, ci è offerto dalla *sirena* di Cagniard Latour. Quest'istrumento è formato (*Fig.* 66) da un tamburo metallico B A C D, nella parte inferiore del quale può fissarsi un tubo C D destinato a soffiare una corrente d'aria nel tamburo. La superficie superiore del tamburo è fornita di uno o più piccoli orifizi eguali, equidistanti, e disposti sopra la circonferenza di un circolo concentrico a quello che limita la superficie del tamburo. Riposa nel suo centro l'estremità inferiore di un asse verticale d'acciaio, di cui l'estremità superiore è ricevuta in una cavità praticata nella traversa orizzontale E F. Quest'asse che dev'essere di una mobilità estrema, porta alla sua parte inferiore e fissa nel suo centro, una lastra metallica circolare G H che ruota con questo asse, e che è fissa ad una distanza estremamente piccola dalla superficie superiore del tamburo. Questo circolo G H è pur forato da un gran numero d'orifizi eguali, equidistanti, e diretti obliquamente nella grossezza della lastra. L'asse d'acciaio che porta il circolo G H è munito nella sua parte superiore di una vite senza fine, che per mezzo di rocchetti e di ruote dentate comunica il movimento agli aghi dei due quadranti X ed Y, di cui i gradi marcano per primo i giri dell'asse, e quelli del secondo le centinaia dei giri. Evvi un ingegno per far ingranare a volontà la vite nella ruota e nel rocchetto. Supponiamo che si metta il cilindro C D in comunicazione con una cassa entro cui l'aria sia spinta da un soffietto: l'aria escirà dagli orifizi del tamburo, e da quelli del disco mobile, quando si trovano nella posizione in cui i loro orifizi coincidono. Ma poichè quelli del disco sono obliqui, la corrente d'aria obbligherà il disco a ruotare; e sarà tanto maggiore la rapidità del suo moto quanto più sarà grande la velocità della corrente. Per questa rotazione sarà regolarmente troncata la corrente d'aria che esce dagli orifizi del tamburo, e le intermittenze nello scolo dell'aria saranno le stesse per tutti gli orifizi: l'aria propagherà queste pulsazioni come propaga le vibrazioni di un corpo solido, e l'acutezza del suono che ne risulta dipende dalla rapidità con cui si succedono queste intermittenze, o cioè dalla rapidità di rotazione. S'immagini per un momento un sol foro sulla faccia del tamburo, e 10 nel disco mobile: è chiaro che nel tempo che questo farà una rivoluzione, il foro del tamburo sarà 10 volte aperto e 10 volte chiuso, 10 volte l'aria escirà, 10 volte sarà impedita. Questo effetto si produrrà in 1" o in $\frac{1''}{10}$ o in $\frac{1''}{100}$, secondo che il disco farà in 1" un giro, 10, o 100 giri; e siccome l'aria che è spinta con violenza e bruscamente arrestata, produce ad ogni alternativa una vibrazione, ne viene che si avranno 20 vibrazioni per secondo, o 200, o 2000. Il numero dei fori della faccia superiore del tamburo B A C D non serve che a variare l'intensità del suono. Ogni foro produce il suo effetto come se fosse solo, e il suono non fa che farsi più intenso crescendo i fori della superficie del tamburo in

quella stessa maniera che avviene con due o più corde che rendono lo stesso suono nello stesso tempo. Ecco come con questo apparecchio si determina il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un dato suono. Si comincia dal regolare la corrente dell'aria in modo che la sirena dia il suono voluto: allora si fanno camminare i due indici che danno il numero delle oscillazioni, e nello stesso tempo si conta con un cronometro alla mano un certo numero di secondi. Dopo un certo numero di questi, p. es. dopo 20″, si arresta il movimento, e si sa il numero N delle centinaia di giri che hanno avuto luogo, e quello *n* dei giri minore di cento. Supponiamo che il piatto superiore del tamburo porti 10 fori, è chiaro che il numero dei colpi dati all'aria in un secondo è espresso da $\frac{10\,(N\,100 + n)}{20}$. Avendo una qualche abitudine in queste esperienze, non si commette l'errore di una vibrazione sopra cinquecento. Si è fatta sonare la sirena con diversi gas, e tutti hanno prodotto gli stessi suoni quando la velocità di rotazione sia la stessa, perchè appunto la natura del suono non dipende che dalla rapidità delle intermittenze del getto fluido.

Colla sirena si ha suono da una corrente d'acqua fatta escire pei suoi fori; e poichè il suono si ottiene tenendo la sirena tutta immersa sotto l'acqua, così all'istrumento fu imposto un tal nome.

Ora che conosciamo il numero assoluto delle vibrazioni che corrispondono ad un dato suono, ci è facile di determinare la lunghezza delle onde sonore che sono prodotte nell'aria dalle vibrazioni più o meno rapide. La lunghezza dell'onda, come già mostrammo, è sempre misurata dallo spazio percorso dal suono nel tempo di una vibrazione. È perciò che un corpo il quale fa una vibrazione in un secondo, produce un'onda lunga 337 metri, che è lo spazio percorso dal suono nello stesso tempo: se fa dieci vibrazioni in 1″, l'onda sarà lunga 33,m7, se ne fa cento è lunga 3,m37, se ne fa mille, l'onda sarà lunga 0,m33.

Dopo ciò che abbiam detto sulla determinazione del numero assoluto delle vibrazioni corrispondente ad un dato suono, ci sarà ben facile di determinare i rapporti dei numeri delle vibrazioni coi diversi suoni musicali.

Sette suoni diversi costituiscono il periodo musicale, conosciuto sotto il nome di *gamma*. I nomi usuali di questi suoni o *note* del gamma, sono: *do, re, mi, fa, sol, la, si*. Crescono tutti questi suoni di acutezza, sono separati gli uni dagli altri da intervalli di una grandezza determinata, e posson continuarsi in tanti altri periodi tutti disposti nello stesso ordine, e nei quali la prima nota è costituita da un suono detto *ottava*, che si scrive do_2, e questo suono è più alto di tutti quelli del primo periodo. Si prende questo do_2 per prima nota di un gamma superiore di un'ottava al primo, e si ha così un'altra serie di note, che differiscono tutte di un'ottava dalle note corrispondenti e portano lo stesso nome del primo gamma. È evidente che può egualmente formarsi un gamma con note tutte più basse di un'ottava. Per distinguere un suono del gamma primitivo da un altro suono appartenente a un periodo superiore od inferiore, s'accennano questi altri suoni con un indice positivo o negativo, secondochè appartengono ad un'ottava più alta o grave. Il nome dell'intervallo fra una nota e l'altra dello stesso gamma, viene contraddistinto dal posto che occupa nella scala musicale il suono più alto; così si dice una *seconda*, una *terza*, una *quarta*, una *quinta*, un'*ottava*, l'intervallo fra *do re*, *do mi*, *do fa*, *do sol*, *do* do_2.

Il mezzo più semplice onde determinare i *rapporti* numerici delle vibrazioni corrispondenti a questi diversi suoni del gamma, è quello di adoperare l'apparecchio (*Fig.* 63) che dicesi *monocordo* o *sonometro*, che non è altro che una corda di budello o di metallo tesa ad una sua estremità. Si fa variare la lunghezza della corda vibrante, mutando posto al ponticello *m*, e in questo caso sappiamo che il numero delle vibrazioni varia in ragione inversa della lunghezza della porzione vibrante. Si comincia dall'ottenere dalla corda il suono più grave, facendola suonare nella sua maggior lunghezza, poi raccorciandola successivamente se ne prende esattamente la misura tutte le volte che si giunge a cavarne le diverse note del gamma. Prendendo per 1 la lunghezza della corda che dà il suono più grave, e di cui ci rappresenteremo pure con 1 il numero delle vibrazioni si ottengono per le lunghezze delle corde e pei numeri relativi delle vibrazioni che danno le diverse note del gamma, i numeri seguenti:

Nomi delle note	DO,	RE,	MI,	FA,	SOL,	LA,	SI,	DO
Lunghezze delle corde corrispondenti . .	1,	$^8/_9$,	$^4/_5$,	$^3/_4$,	$^2/_3$,	$^3/_5$,	$^8/_{15}$,	$^1/_2$.
Numeri relat. delle vibr. nello stesso tempo	1,	$^9/_8$,	$^5/_4$,	$^4/_3$,	$^3/_2$,	$^5/_3$,	$^{15}/_8$,	2.

Vedesi da ciò che i numeri delle vibrazioni nelle ottave seguenti posson rappresentarsi per quelli della prima ottava, moltiplicati per una potenza di due, eguale al posto dell'ottava diminuita di un'unità: per esempio nel *sol* della quarta ottava che rappresentiamo col sol_4, il numero relativo delle vibrazioni è espresso da $^3/_2 . 2^3 — 12$. Reciprocamente, conoscendo il numero delle vibrazioni che rappresentano un suono, può trovarsi il suo nome e l'ottava cui appartiene. Sia 20 il numero relativo delle vibrazioni che corrispondono ad un dato suono, prendendo sempre per 1 il nomero dello vibrazioni del primo suono della ottava più bassa, dividendo per due il detto numero tante volte quante si può, si troverà successivamente 10, 5, $5/_2$, $5/_4$, ciò che vuol dire che il suono corrispondente è il *mi* della quarta ottava, è mi_4.

Le note del gamma non sono i soli suoni impiegati in musica: si usa ancora dei *diesis* e dei *bemolle*. Egli è facile, per mezzo del solito monocordo, di determinare il valore di questi suoni; basta perciò, dato un certo suono, di far variare la lunghezza della corda fino a tanto che si giunge ad avere lo stesso suono diesis o bemolle. Si trova coll'esperienza, che il numero delle vibrazioni di un dato suono sta al numero delle vibrazioni dello stesso suono diesis, come i numeri 24 : 25, e che questi numeri per un dato suono e per lo stesso suono bemolle, stanno come i numeri 25 : 24.

La serie dei suoni o sette note della scala musicale, sembra doversi attribuire alla natura della nostra organizzazione, a un fatto del nostro animo. Il diverso intervallo che passa fra una nota e l'altra, potrebbe far riguardare la formazione di questa serie naturale come affatto arbitraria ed inesplicabile. È però assai importante la considerazione fatta che le sette note o suoni del gamma s'ottengono disponendo nel loro ordine successivo i suoni di tre *accordi perfetti*. Perchè tre suoni soddisfacciano alla condizione dell'accordo perfetto, è necessario che i numeri delle vibrazioni corrispondenti sieno fra loro come i numeri 4, 5, 6.

L'esperienza ha mostrato che la coesistenza di questi tre suoni produce sull'orecchio la sensazione musicale la più aggradevole. Si prendono le tre serie musicali che si succedono gli otto suoni seguenti, i quali si hanno saltando ad ogni intervallo la nota intermedia, cioè

$$\begin{matrix} FA_{-1}, & LA_{-1}, & DO, & MI, & SOL, & SI, & RE_2 \\ ^2/_3, & ^5/_6, & ^1, & ^5/_4, & ^3/_2, & ^{15}/_8, & ^9/_4: \end{matrix}$$

questi suoni che comprendono tutti quelli del gamma, formano tre accordi perfetti; *fa, la, do*; *do, mi, sol*; *sol, si, re*. Egli è facile di vedere che i numeri delle vibrazioni corrispondenti ai tre suoni di ogni gruppo sono fra loro come i numeri 4, 5, 6. In questi suoni sono appunto comprese le sette note del gamma.

Allorchè più suoni del gamma giungono contemporaneamente all'orecchio, le sensazioni in qualche modo composte che se ne hanno, piacciono in alcuni casi, in altri no. Se ne hanno così gli *accordi* e le *dissonanze*. Il più semplice degli accordi è l'*unisono*, ed è prodotto da due suoni che per quanto abbiano un timbro e un' intensità diversa, sono egualmente alti. Dopo l'unisono, l'accordo più semplice è quello dell'ottava; viene in seguito l'accordo di quinta e di terza. Ciò che importa per noi di ben notare in questa sensazione degli accordi, si è che l'orecchio è affetto nell'istesso modo da due suoni simultanei conservanti lo stesso rapporto o lo stesso intervallo musicale, qualunque sieno i numeri assoluti delle vibrazioni che corrispondono a quei suoni. Così i due suoni simultanei *do* e *mi*, producono la sensazione della terza maggiore, e agiscono egualmente sul nostro orecchio sieno essi do_2, mi_2, o do_3, mi_3, nei quali casi il numero delle vibrazioni è doppio e quadruplo di quello che è nel primo. Non sono dunque i numeri assoluti delle vibrazioni, nè le differenze di questi stessi numeri, che producono sull'orecchio la sensazione degli accordi; ma è unicamente il rapporto di questi numeri.

È senza dubbio assai difficile di dare una spiegazione soddisfacente della sensazione sgradevole che produce sull'orecchio la successione rapida di due suoni discordanti; ed è egualmente difficile di farsi un' idea delle grate sensazioni che son prodotte dagli accordi. Per metterci nella strada di una qualche fondata congettura sulla cagione di questi fenomeni, devo parlarvi prima dei *suoni armonici*. Allorchè si ascolta attentamente e da un orecchio delicato una corda piuttosto grossa, come quella di un contrabbasso, che dà un suono grave o sostenuto, si distinguono facilmente oltre al suono fondamentale due altri suoni più acuti, che sono l'ottava della quinta e la doppia ottava della terza. Così se il suono fondamentale è *do*, si sente il sol_2 e il mi_3, non che le ottave do_2 e do_3. Se ci rappresentiamo il suono fondamentale con 1, questi numeri sono 3, 5, 4, 2, per gli altri suoni che la corda produce contemporaneamente, per cui i suoni coesistenti prodotti dalla stessa corda, possono esprimersi coi numeri 1, 2, 3, 4, 5.

Egli è facile rendersi ragione di questo fenomeno, ammettendo che la corda si suddivida nell' istesso tempo in 2, 3, 4, 5 ec. parti eguali, e che tutte queste frazioni diverse della corda vibrino insieme senza turbarsi e confondersi, come vedesi nella *Fig.* 65. Il suono più grave o suono principale è prodotto dall' oscillazione dell' intera corda intorno alla sua posizione d'equilibrio, e intanto le due metà della corda vibrano nell' istesso tempo e in senso contrario l' una dell' altra, in modo che il mezzo della corda è sempre nella posizione che occuperebbe senza questo secondo movimento parziale. Può ancora accadere che la corda si divida in tre parti che vibrino separatamente, lasciando liberi i due primi generi di movimenti; questi modi di suddivisione possono spingersi ancora e coesistere sempre. In tutti i casi le due, o tre o quattro porzioni della corda che vibrano in senso contrario, devon riguardarsi separate da un punto occupante la stessa posizione che avrebbe non ammettendo il secondo movimento. Questo o questi punti, diconsi *nodi* di vibrazioni delle corde. La coesistenza di questi diversi movimenti è indicata dalla teoria come un risultato necessario della espressione analitica la più generale dei movimenti vibratori. Questa divisione della corda può anche provarsi coll' esperienza, osservandola nel tempo che vibra. Purchè la corda sia lunga, scorgonsi allora due o più parti della medesima incurvarsi nel tempo stesso che tutta la lunghezza della corda vibra per produrre il suono fondamentale. Dal volume apparente della corde è facile distinguere coll' occhio il suo modo di suddivisione in due parti, onde produrre l' ottava alta del suono principale. Sauveur ha creduto di poter rendere meglio visibili queste divisioni della corda, disponendo un cavalletto che la prema leggerissimamente alla metà, al terzo o quarto della sua lunghezza, poi facendo vibrare con un arco la porzione più corta della corda. L' esperienza infatti prova che il movimento vibratorio che viene trasmesso alla porzione più lunga si fa dividendosi la corda in parti eguali alla più corta, le quali vibrano separatamente. Ma a rendere evidente questa divisione della porzion lunga della corda basta di mettere a cavallo alcuni archetti di carta, e si vedrà che mentre la corda vibra, alcuni di questi archetti stanno fermi, altri son gettati. I punti su cui posano gli archetti rimangono fermi, e sono *nodi* di vibrazioni. Questa esperienza però, per quanto ingegnosa, non prova che senza il cavalletto la corda possa egualmente dividersi in parti che vibrano separatamente. Citerò ancora un' esperienza curiosa che ci servirà a meglio intendere il fenomeno fisiologico degli accordi. Osservate che io posso far vibrare una corde facendogliene vibrare un' altra da vicino. Ma vuolsi una condizione perchè questo avvenga: ed è che le due corde della stessa natura ed egualmente tese, abbiano una lunghezza eguale, ovvero che la lunghezza dell' una sia un multiplo o un sottomultiplo intero dell' altra. Il rapporto dei numeri delle vibrazioni delle due corde, perchè questo fenomeno sia possibile, deve perciò esser quello dell' unità ad un numero intero.

Risulta dunque dalla teoria e dall' esperienza, che un corpo capace di un certo sistema di vibrazioni, deve poter anche eseguire un' infinità di altri sistemi di vibrazioni, o vibrare all' unisono di una gran varietà di suoni diversi, purchè abbiano fra loro dei rapporti determinati, dipendenti dalle varie circostanze del movimento vibratorio. Risulta pure dalla teoria e dall' esperienza, che tutti questi movimenti vibratori posson coesistere senza distruggersi nè alterarsi.

Chi non vede ora che quando ascoltiamo un suono, le diverse parti dell' orecchio, muscoli, membrane ec., devono vibrare all' unisono di questo suono, e perciò devono, senza scomporsi, adattarsi successivamente ad una serie d' altri suoni, purchè abbiano col primo quei determinati rapporti che abbiamo provato dover essere fra le lunghezze di due corde perchè vibrino insieme mentre una sola è in moto? Chi non vede che per un suono fuori di questa serie, tutte le parti dell' orecchio devono diversamente disporsi, saltar improvvisamente d' una posizione ad un' altra? Non sarà questa la cagione della agradevole sensazione delle dissonanze?

La simultaneità dei suoni produce anche un altro fenomeno molto curioso, di cui devo parlarvi ora. Consiste questo fenomeno, osservato per la prima volta dal celebre maestro Tartini, nella produzione di un nuovo suono più grave di ciascuno dei due suoni coesistenti dai quali è prodotto. Per concepire questo singolare fenomeno basterà che vi risovveniate che un suono è prodotto, come nella ruota di Savert i cui denti urtano contro un pezzo di carta, da una serie di urti, di percosse regolari, la rapidità delle quali ne determina il grado d'acutezza. Supponiamo adunque di far vibrare nello stesso tempo due corde l' una presso all'altra, che diano i suoni do_2 e sol_2. I numeri delle vibrazioni di questi suoni coesistenti sono 2 e 3, esprimendo sempre con 1 questo numero per il *do*, vi sono perciò alcuni istanti in cui queste vibrazioni giungono insieme all' orecchio, ed altri in cui vi arrivano sepa-

rate. Per distinguere questi istanti, rappresentiamoci i mezzi delle vibrazioni con punti egualmente distribuiti sopra una stessa linea, e avremo la disposizione seguente:

I momenti delle coincidenze sono evidenti; gl' intervalli che li separano sono doppi di quelli che separano le vibrazioni del do_2 per cui questi colpi periodicamente prodotti dall' arrivo contemporaneo delle onde dei due suoni, ci danno il suono *do*, che è appunto l'ottava bassa del do_2. È evidente che quanto più questi suoni son prossimi, cioè differiscono di un numero tanto più piccolo di vibrazioni, tanto più le coincidenze sono rare, e si hanno allora dei battimenti invece di un suono. Una tale esperienza si eseguisce con grande facilità colle canne d'organo, e dà anzi una prova sicura per conoscere se questo istrumento è accordato.

LEZIONE XXX.

Vibrazioni delle corde. — Vibrazioni delle verghe. — Vibrazioni delle lastre. — Trasmissione dei movimenti vibratori. — Orecchio. — Sensazione dei suoni.

È tempo che passiamo a determinare le leggi di questo movimento vibratorio, che dimostrammo essere la cagione del suono, e che impariamo a conoscere come varia questo fenomeno per la diversa forma e natura del corpo sonoro, pel modo con cui si produce, e per la stabilità forzata in cui si tengono alcune delle sue parti. Cominceremo dallo studiarlo nelle corde, dove si produce colla maggiore semplicità. Un filo metallico (*Fig.* 65) fisso ad una estremità e fortemente teso nel senso della sua lunghezza per mezzo di pesi che vi sono applicati, è l'apparecchio il più semplice che possa impiegarsi in queste ricerche. Si fissa la lunghezza della corda per mezzo di due pinzette o ponticelli, uno dei quali è mobile. Si fa scorrere un arco da violino trasversalmente, o si pizzica la corda: in questi due modi si ottiene un suono, e si vede la corda vibrare passando tutte le sue parti alternativamente dall'una e dall'altra parte della sua posizione d'equilibrio. Questi movimenti di ogni punto della corda perpendicolarmente al suo asse, sono resi evidenti dal volume più grande che apparentemente prende la corda a modo da parere rigonfiata specialmente nel suo mezzo. Le leggi delle *vibrazioni trasversali* di una corda sono state da lungo tempo determinate dai Geometri. Fondandosi sopra i principi della Meccanica razionale e sopra le proprietà dei corpi elastici, si è trovata una formola assai semplice che dà il numero *n* delle vibrazioni trasversali eseguite in un secondo da una corda omogenea, di cui la lunghezza è l, r il suo raggio, p il suo peso, e P il peso o la forza che la tiene tesa. Questa formola ci dà $n = \sqrt{\frac{gP}{lp}}$, in cui g è l'intensità della gravità. Rappresentando con d la densità della corda, si ha $p = \pi r^2 l d g$ e quindi $n = \frac{1}{rl}\sqrt{\frac{P}{\pi d}}$. Le leggi che possono dedursi da questa formola sono evidenti. Infatti per essa è agevole vedere che i numeri delle vibrazioni di una corda sono in ragione inversa della sua lunghezza e del suo raggio, proporzionali alle radici quadrate dei pesi che la tendono, e in ragione inversa delle radici quadrate della sua densità. Possono queste leggi verificarsi facilmente coll'esperienza o deducendo dal valore dei diversi suoni i numeri relativi delle vibrazioni che li rappresentano, ovvero adoperando corde tanto lunghe da poter contare coll'occhio le vibrazioni lente che così s'ottengono.

L'analisi matematica conduce ad un'altra conseguenza importante di cui già abbiamo parlato. Una corda nel vibrare può dividersi naturalmente in un numero qualunque di parti eguali che vibrano separatamente, ognuna delle quali vibra come farebbe una corda lunga quanto lo è ognuna delle porzioni in cui si divide, e che fosse fissa alle sue due estremità. Quelle porzioni eguali in cui si divide la corda, eseguiscono tutte uno stesso numero di vibrazioni, e questi numeri variano per le diverse parti nel rapporto inverso delle loro lunghezze. Le questi diversi sistemi di vibrazioni appartenenti ad una stessa corda, ogni punto di separazione fra due di queste parti che vibrano

rimane fisso, e le due parti fra cui si trova, eseguiscono necessariamente le loro vibrazioni in senso contrario. Chiamansi *nodi* questi punti fissi che si producono in una corda che vibra divisa in un certo numero di parti. Vedemmo altresì che la teoria e la esperienza dimostrano che questi sistemi di vibrazioni parziali consistono inalterati, e si sovrappongono a quello della corda intera. E da ciò i suoni armonici. Per produrre facilmente questi suoni ed osservare la divisione della corda in parti aliquote che vibrano, basta applicare un lieve ostacolo, appoggiare un dito in un punto della corda, poi passare l'arco sopra la sua porzione più corta: il resto della corda si mette a vibrare, e vibra diviso in tante parti eguali in lunghezza a quella su cui si è strisciato l'arco. Si rendono evidenti i nodi prodotti nella porzione lunga della corda, con piccoli archetti di carte che vi rimangono immobili.

Tutti i suoni possibili di una corda formano la serie dei numeri 1, 2, 3, 4 ec., o, ciò che torna lo stesso, una corda può suddividersi in 2, 3, 4 ec. parti che vibrano 2, 3, 4 ec. volte più rapidamente della corda intera. I numeri relativi delle vibrazioni sono sempre rappresentati dalle lunghezze della corda rovesciate. Si prenda una corda che dia, vibrando con tutta la sua lunghezza, un certo suono *do*, come il più grave. Si avrà la serie seguente facendo vibrare la corda divisa in parti più corte.

Parti in cui si divide la corda.

1, 2, 3, 4, 5, 6, ec.

Suoni

DO_1, DO_2, SOL_2, DO_3, MI_3, SOL_3, ec.

Oltre questo movimento di vibrazione che ha luogo intorno all'asse della corda e in tante linee perpendicolari a quest'asse, noi abbiamo un altro movimento di vibrazione in una corda. In questo secondo le sue molecole si muovono parallele al suo asse, e le vibrazioni diconsi perciò *longitudinali*, e sono soggette a leggi diverse da quelle delle vibrazioni trasversali. Si ottengono le vibrazioni longitudinali confricando la corda nel senso della sua lunghezza con un pezzo di panno coperto di resina polverizzata, oppure tenendo l'arco con cui si fa sonare il più possibilmente parallelo all'asse della corda. Onde farsi un'idea della natura di questi movimenti, supponiamo divisa in tanti strati la corda per mezzo di piani trasversi, e prendiamola tesa fra due punti fissi. Confricando la corda nel modo che abbiamo detto, questi strati sono direttamente trasportati nel senso della confricazione, e questo movimento simultaneo comunicato da strato a strato, aumenta necessariamente l'intervallo fra le molecole verso una delle estremità della corda, e lo diminuisce verso l'altra. Allorchè poi i diversi strati della corda, cessata la confricazione, tornano liberi, l'elasticità riconduce tutte le molecole verso le loro posizioni d'equilibrio, e ritornando queste addietro riproducono la condensazione nei punti opposti del primo istante. Cominciano così delle oscillazioni parallele alla lunghezza della corda, che producono un suono essendo isocrone e concordanti. Tanto nel movimento verso un'estremità, che nel movimento di ritorno verso l'altra, la velocità è sempre zero per gli strati estremi che sono fissi, e va crescendo a misura che si considerano degli strati più vicini al centro. Il contrario avviene delle condensazioni e dilatazioni, cioè dei ravvicinamenti o allontanamenti prodotti nell'intervallo molecolare. Queste condensazioni e dilatazioni sono massime all'estremità e nulle al mezzo, dove invece la velocità è la più grande. Viene da ciò che i nodi di vibrazioni sono pure quei punti fissi nei quali sono massime le condensazioni e le dilatazioni, e nulle le velocità: si chiama invece *ventre* di vibrazione il punto intermedio a due nodi che non cambia di densità, ma che invece è animato dalla maggiore velocità, e soffre i maggiori movimenti. Ma esaminiamo più estesamente il caso più semplice di questo moto vibratorio, quello cioè in cui il numero delle vibrazioni è il più piccolo che la corda possa dare. Vedremo più innanzi che la corda stessa può dare altri suoni, dividendosi in parti aliquote che vibrano separatamente. Perchè possa sussistere quel primo stato di vibrazione della corda tutta intera, bisogna che tutti i suoi strati siano animati ad ogni istante da una velocità diretta per tutti nello stesso senso: le ampiezze però delle loro vibrazioni e per conseguenza la grandezza delle loro proprie velocità negli stessi istanti, devono decrescere partendo dallo strato C (*Fig.* 74) che occupa il mezzo, e andando verso gli strati fissi in A e in B. Siano C' e C'' le due posizioni estreme dello strato C ad ogni oscillazione. Allorchè questo strato si muove da C verso C', tutte le altre parti della corda si muovono nello stesso senso; risulta però dalla diseguaglianza delle loro velocità proprie, che vi è condensazione da C' in A, e dilatazione da C in B. Quando lo strato intermedio è giunto in C', le dilatazioni e condensazioni sono arrivate al loro massimo, e le velocità proprie delle particelle sono zero. Queste velocità cangiano di segno quando lo strato intermedio si muove da C in D; la condensazione in A e C e la dilatazione in B C vanno intanto diminuendo. Nel

punto in cui lo strato C passa per la sua posizione primitiva d' equilibrio, non v'è più dilatazione nè condensazione; invece le velocità dei diversi strati della corda sono massime e dirette da A verso B. Oltrepassato questo punto e nel moversi dello strato da C a C'' la parte AC soffre la dilatazione e la BC è condensata. Queste dilatazioni e condensazioni aumentano nel tempo che le velocità diminuiscono: pervengono al loro massimo valore quando lo strato è in C'', ed è allora che sono nulle le velocità. Intanto lo strato C che nel tempo del movimento vibratorio separa costantemente le due parti della corda, una delle quali è dilatata l'altra condensata, non prova alcun cambiamento di densità, mentre invece è massima la velocità che lo anima, massima l' ampiezza del suo movimento.

Anche in questo genere di vibrazioni si formano naturalmente dei nodi di vibrazioni intermedii, che dividono la corda in un certo numero di parti eguali, di cui le vibrazioni seguono le leggi generali che già abbiam date per le vibrazioni longitudinali dell'intera corda, e che sono tanto più rapide quante più sono le parti aliquote della corda che vibrano. La teoria anche in questo caso dimostra che possono coesistere questi stati di vibrazioni particolari. È facile di produrre i nodi delle vibrazioni longitudinali. Il più semplice di questi movimenti parziali si ha determinando con un cavalletto o con un dito la formazione di un nodo in mezzo della corda. Questo punto essendo fisso, la corda si separa in due parti, in mezzo delle quali sono due ventri di vibrazioni. Perchè i due movimenti parziali non si contrarino, è forza che abbiano ad ogni istante delle direzioni contrarie, e in questo modo rendono immobile lo strato intermedio che prova invece le massime condensazioni e dilatazioni, come i punti estremi che sono fissi. Il suono risultante in questo caso è necessariamente più acuto, corrispondendo ad un numero di vibrazioni doppio di quello prodotto dalla corda libera per tutta la sua lunghezza. S'intende facilmente che la corda vibrante longitudinalmente può dividersi pure in altre 3, 4, ec. parti eguali separate da nodi di vibrazioni, le quali eseguiscono dei movimenti alternativamente di segno contrario, ma tutti isocroni: il contatto di un ostacolo qualunque al terzo, al quarto ec. della lunghezza della corda, produce questi diversi modi di vibrazioni. I suoni ottenuti dalle vibrazioni longitudinali hanno tra loro gli stessi rapporti di quelli che risultano dalle vibrazioni trasversali: si distinguono però per l' influenza particolare che l'elasticità della corda vi esercita, ed è perciò che sono sempre più acuti quelli dovuti alle vibrazioni trasversali. In queste ultime tutte le molecole della corda sono sensibilmente spostate nello stesso tempo, tutte partono contemporaneamente dalle loro posizioni estreme, il rapporto della velocità di ciascuna all'ampiezza della sua oscillazione totale è conseguentemente lo stesso in tutta l'estensione della corda per uno stesso istante. Quindi il numero di queste vibrazioni non può dipendere che dalla forza che tende la corda, dal suo diametro, dal suo peso, dalla sua lunghezza. L'elasticità della materia della corda non può influire che sull'ampiezza più o meno grande dell'oscillazione. Invece nelle vibrazioni longitudinali la velocità con cui si trasmette lo spostamento da strato a strato per tutta l'estensione della corda, è dipendente necessariamente dalla sola elasticità. Poisson ha dedotto dall'analisi una relazione assai semplice fra i suoni prodotti dalle vibrazioni longitudinali e dalle trasversali d' una stessa corda: sieno n ed n' i numeri delle vibrazioni corrispondenti ai suoni i più gravi di questi due modi diversi, l la lunghezza della corda, e a l'allungamento che essa proverebbe tirata da una forza eguale al peso che tende la corda; si ha sempre $n'\sqrt{l}=n\sqrt{a}$. Questa formola, che Savart ha verificato coll' esperienza, ci prova che i suoni dovuti alle vibrazioni longitudinali sono sempre più acuti di quelli prodotti dalle vibrazioni trasversali: siccome a è sempre assai piccolo in confronto di l, deve perciò n essere più grande di n'. La quantità a dipende appunto dall'elasticità del corpo.

Qualunque corpo elastico può vibrare come una corda. Esamineremo successivamente queste vibrazioni ne' diversi corpi secondo le loro diverse dimensioni. Per ognuno di questi vi sono sempre due specie di movimenti vibratori: gli uni si fanno perpendicolarmente alla loro superficie, gli altri parallelamente ai piani tangenti, e per conseguenza normalmente ai primi. Si può con un mezzo assai semplice, riconoscere l' esistenza di queste due specie di movimenti: basta di ricoprire con sabbia fina la superficie vibrante. Se le vibrazioni sono normali alla superficie, i grani di sabbia saltano verticalmente ad un'altezza più o meno grande; e se invece sono tangenziali, si veggono i grani di sabbia moversi scorrendo sulla superficie senza distaccarsene. Tanto in un caso poi come nell'altro, si vede la sabbia raccogliersi sopra alcune linee, che chiamansi *linee nodali*, e di cui parleremo fra poco.

Consideriamo più specialmente questi diversi casi di vibrazione. Le verghe elastiche

rette quali sono le lamine di acciaio o di vetro, soffrono, come le corde, delle vibrazioni longitudinali e trasversali. Si producono queste ultime fissando la corda ad una sua estremità, poi scorrendo trasversalmente sopra l'orlo della sua estremità libera con un arco. È chiaro che allontanata la lastra dalla sua posizione d'equilibrio e abbandonata in seguito alla sua elasticità, ciascuna delle sue parti prende una velocità propria che va accelerandosi, finchè la lamina è giunta alla sua posizione primitiva. Colla velocità acquistata oltrepassa questa posizione, e intanto la sua velocità diminuisce, e allorquando è ridotta a zero, l'elasticità riconduce la lamina in senso contrario. Così si fa dalla lastra una serie di oscillazioni, di cui l'ampiezza va sempre decrescendo a misura che il movimento si trasmette al mezzo in cui si fa, ed ai corpi con cui la lamina è a contatto. La formola analitica di questi movimenti stabilisce, che il numero delle vibrazioni trasversali di una lastra fissa ad una estremità è in ragione inversa del quadrato della lunghezza della lamina vibrante. Chladni ha verificato coll'esperienza questa legge, facendo oscillare delle lamine tanto lunghe da potersi contare coll'occhio le oscillazioni fatte in un dato tempo. Anche queste lamine possono naturalmente suddividersi, come le corde, in parti che vibrano separatamente; basta per produrre queste divisioni, di toccare la lamina leggermente col dito o con un ostacolo qualunque, in quel punto in cui vuolsi formare un nodo, e di passare coll'arco in mezzo di una delle porzioni che devono vibrare. Spargendo della sabbia sulla superficie della verga o lamina che si fa vibrare, si rendono sensibili all'occhio queste divisioni della lamina in parti che vibrano separatamente; si vede la sabbia riunirsi sulle linee nodali o di riposo. A misura che la lamina si divide in un più gran numero di parti, il suono si fa più acuto, e l'acutezza cresce, come il numero delle vibrazioni, nel rapporto del quadrato della lunghezza della parte vibrante.

Allorchè una delle estremità della verga è fissa e l'altra libera, il modo di vibrazione il più semplice è rappresentato nel disegno più alto della *Fig.* 72, ed è questo modo che dà il suono più grave. Vi sono nella stessa figura due altri disegni in cui la lastra è rappresentata con uno o due nodi, nei quali casi produce dei suoni sempre più acuti.

La condizione generale di queste divisioni della lastra in più parti che vibrano separatamente, ciò che avviene fissandola o toccandola con qualche ostacolo in quel punto che si vuol render fisso, è sempre che le diverse parti vibrino separatamente all'unisono. Perciò è che nel caso in cui v'è un nodo di vibrazione, essendo la lastra libera ad un'estremità e fissa all'altra, le lunghezze delle due porzioni che vibrano separatamente all'unisono divise da una linea nodale, non possono esser le stesse. Una di queste porzioni vibra come una lastra che fosse fissa alle sue due estremità, l'altra come una lastra libera ad una estremità e fissa in quel punto ove s'è formato il nodo: questo nodo si trova ai 2/3 dall'estremità fissa. Dobbiamo al nostro celebre Giordano Riccati la teoria di questi movimenti vibratori.

Le lastre e verghe elastiche possono vibrare longitudinalmente come le corde; anche in questa specie di vibrazioni si divide la lastra spontaneamente in diverse parti che vibrano all'unisono, e che sono separate da linee nodali: le porzioni estreme sono in generale più corte delle altre, le quali son sempre eguali fra loro. Per produrre queste vibrazioni si tiene la lamina stretta fra le dita nel suo mezzo, e si confrica nel senso della sua lunghezza con un panno bagnato o coperto di polvere di resina. Per rendere sensibile colla sabbia la formazione delle linee nodali, conviene produrre il suono dando dei colpi sulla costa della lamina, e se ne ha lo stesso effetto come se si confricasse con un panno bagnato. Può fissarsi la lastra in vari punti, e così prodursi diverse linee nodali. Il suono più grave si ha quando è fissa una delle estremità, e si ha l'ottava alta di questo suono tenendola fissa pel suo mezzo e facendo vibrare longitudinalmente una sua metà.

Se si fanno vibrare delle lastre sottili ridotte in forme circolari, quadrate, triangolari ec., confricandole con un arco di crine sui loro orli ben rotondati, si producono sempre delle linee nodali; ciò che ci prova che si dividono queste lastre, qualunque sia la loro forma, in un certo numero di parti che vibrano separatamente all'unisono. Al solito si adopera la sabbia per tracciare le linee nodali. Le vibrazioni tangenziali o normali che vi si possono produrre, gettano la sabbia sulle linee nodali che separano le porzioni vibranti. Savart adopera, per prendere i disegni delle linee nodali, della polvere di laccamuffa invece di sabbia; e una volta formate queste linee, vi posa sopra una carta umida. In tal guisa si trasporta sulla carta il disegno della lastra vibrante e delle sue linee nodali. Sarei troppo lungo se volessi coll'esperienza tracciarvi tutte le linee nodali che una stessa lastra può dare. In generale riduconsi a tre i sistemi di queste il-

nea nodali, cioè al *sistema diametrale*, al *sistema concentrico* ed al *sistema composto*. Il primo è formato da linee diametrali che dividono la circonferenza in un numero pari di parti eguali: dovendo queste parti vibrare all'unisono, devono necessariamente essere eguali in estensione; non possono essere in numero dispari, perchè una linea nodale non può formarsi, se non è separata da due parti contigue dotate di movimenti opposti. Questo sistema diametrale si ottiene sempre, passando con l'arco sugli orli ben rotondati della lastra nel tempo che si tiene stretta o fra due dita, o fra le branche di un morsetto di legno. Nel sistema concentrico tutte le linee nodali sono linee curve concentriche, il cui centro è al centro della lastra. Per ottenere questo sistema si usano lastre di un gran diametro forate al centro, ed ivi confricate con un fascio di crini a guisa d'arco. Nel sistema composto le linee nodali sono diametri più o meno incurvati, e circonferenze più o meno alterate nei loro contorni. Per ottenere questi diversi sistemi basta di stringere colle dita, anche leggermente, uno o più dei punti per cui devono passare le linee nodali. Nelle lastre quadrate si distinguono tre sistemi analoghi ai precedenti. Le *Fig.* 69 e 70 rappresentano alcuni dei varî sistemi di linee nodali: le figure le più semplici corrispondono ai suoni più gravi. Queste diverse figure delle linee nodali sono indipendenti dalla natura delle sostanze che vibrano, ed è perciò che si producono colla stessa regolarità sul metallo, sul vetro, sul legno. In tutti i casi per altro è condizione indispensabile che l'elasticità sia la stessa in tutti i sensi. Savart il primo ha studiato come variava la formazione delle linee nodali, allorchè l'elasticità non era la stessa in tutte le direzioni.

Prendasi ad esempio una lastra circolare di rame, la superficie della quale sia coperta di solchi profondi e paralleli: perchè si formino in essa due linee nodali perpendicolari, è forza che una di queste linee sia diretta parallelamente ai solchi. Anche le lamine circolari di legno, nelle quali le facce sieno parallele alle fibre, presentano lo stesso fenomeno perchè l'elasticità non è eguale in tutti i sensi: l'asse del massimo di elasticità è parallelo alle fibre. Quasi tutti i corpi, i metalli fusi, laminati, il vetro, la resina ec., si comportano come le lamine di legno tagliate parallelamente alle fibre. Molto singolare è altresì il fatto scoperto da Savart, che delle lamine tagliate in una stessa massa ma in *diverse direzioni* e fatte vibrare, producono linee nodali che non si corrispondono. La sola cera di Spagna produce due linee nodali perpendicolari, che possono occupare tutte le posizioni possibili sopra una lamina di questa sostanza. Savart partendo da questi principî è giunto, per mezzo di queste diverse divisioni di cui sono suscettibili le lastre dei diversi corpi nel vibrare, a svelare la struttura dei corpi cristallizzati e il diverso grado d'elasticità che ha un solido cristallizzato nelle sue diverse direzioni. È questo uno dei risultati i più importanti della Fisica molecolare.

In generale le linee nodali sono fisse, ma in certe circostanze queste linee oscillano intorno ad una certa posizione, sulla quale la sabbia s'arresta dopo che è cessato il movimento che le ha prodotte, e in qualche altra circostanza queste linee nodali si muovono continuamente. Anche la scoperta di questo fenomeno singolare è dovuta a Savart, il cui nome s'incontra ad ogni passo nelle teorie dell'Acustica. Si rende questo fenomeno sensibilissimo adoperando una lastra circolare di ottone di 30 o 40 centimetri di diametro, e facendola vibrare dopo averla fissata nel suo centro a modo da ottenere delle linee nodali diametrali. È utile di servirsi per questa esperienza di una polvere più leggiera della sabbia. Finchè l'arco tocca il disco, le linee nodali rimangono immobili; ma se si distacca improvvisamente, si veggono queste linee oscillare intorno alle posizioni che occupavano da prima. L'ampiezza di queste oscillazioni ottenute al distaccare dell'arco cresce colla velocità con cui l'arco è strisciato e colla prontezza con cui si distacca: quest'ampiezza può esser tanta, da portare le linee nodali al di là del mezzo dell'intervallo che le separava nella loro prima posizione. In questo caso si può far fare successivamente dei nuovi passi alle linee nodali, e ripetendo i colpi dell'arco si giunge a dare alla polvere un movimento continuo di rotazione.

Anche le *membrane* presentano maniere di vibrazione analoghe a quelle che abbiamo studiato nelle lastre. Di che possiamo assicurarcene facilmente incollando sopra circoli o quadri di legno queste membrane, dopo averle bene inumidite perchè nell'asciugarsi rimangano perfettamente tese. Osservate ciò che accade sopra questo pezzo di vescica teso sopra un circolo di legno e coperto di sabbia: appena lo tocco col *corista* che vibra o l'avvicino ad una canna da organo che suona, veggo saltellare i grani di sabbia che lo coprono, e disegnarvisi sopra delle linee nodali che variano di forma e di posizione da un suono all'altro. Risulta dalle osservazioni di Savart, che pezzi di membrana quadrati e così tesi sono suscettibili

di produrre tutti i numeri possibili di vibrazioni, e per ognuno di questi numeri vibrano divisi in un modo particolare. Ciò che presentano di singolare le membrane si è, che uno stesso numero di vibrazioni può esser dato da diversi modi di divisione.

Quanto abbiam detto basta a provarci che tutti i corpi, qualunque sia la loro forma e natura, possono produrre movimenti vibratori, variabili secondo i diversi modi con cui sono eccitati, secondo le loro dimensioni, la varia elasticità che hanno nei diversi sensi, ec.

I corpi possono prendere lo stato vibratorio anche senza esser confricati direttamente, e messi soltanto a contatto dei corpi che vibrano. Posso dimostrarvi facilmente questa verità. Spargete di sabbia una lastra di vetro, di legno, di metallo, una membrana tirata ec., e accostatela sino al contatto ad una corda che vibra, al corista che suona. All'istante vedete la sabbia muoversi, saltare, e cessare tutto questo, distaccandola dal corpo che suona. Savart ha fatto un gran numero di esperienze sopra tale soggetto, variandole in mille modi, per giungere al principio generale della comunicazione del movimento vibratorio; ed ha così trovato che: *la direzione del movimento vibratorio trasmesso è parallela al movimento vibratorio primitivo, di modo che nel trasmettersi la sua direzione è conservata*. Del quale semplicissimo principio potete convincervi con una facile prova: toccate colla lastra coperta di sabbia la corda che vibra trasversalmente, e all'istante la sabbia scorre tangenzialmente senza distaccarsi dalla superficie; fate che la corda vibri longitudinalmente, e la sabbia salta subito in alto.

Questo principio è di una grande importanza nella costruzione degli strumenti a corda. Savart ha dimostrato che in un violino, tutte le parti dell'istrumento vibrano all'unisono della corde; ma che la forma, la curvatura, la posizione dell'*anima* che serve a comunicare il movimento alla lamina inferiore, hanno la più grande influenza sulla buona qualità dell'istrumento. Questo illustre Fisico, fondandosi sul principio della comunicazione del movimento vibratorio, ha dato regole per la costruzione di questi strumenti, che hanno servito a renderli capaci di un suono più dolce.

Anche attraverso ai liquidi e all'aria si comunicano le vibrazioni. Per tale ragione le corde vibrano allorchè l'aria trasmette dei suoni armonici di queste corde, ed è questa stessa ragione che fa vibrare i vetri allorchè suona un organo, ee pure quei vetri possono vibrare all'unisono del suono dell'organo. Savart ha ancora studiato questo modo di trasmissione tenendo membrane tese e cosperse di sabbia ad una certa distanza da un disco metallico in vibrazione. Nel quale esperimento ha veduto la membrana mettersi a vibrare, e le sue vibrazioni essere trasmesse come lo sarebbero se invece d'aria vi fosse un corpo solido interposto. La comunicazione poi delle vibrazioni per mezzo dell'aria è resa anche più evidente quando è l'aria stessa che diviene il corpo sonoro. Si supponga di avere un tubo chiuso ad una estremità che renda lo stesso suono di un corista o di un disco metallico in vibrazione. Si faccia vibrare il corista o il disco, e s'avvicini l'uno o l'altro in vibrazione alla bocca del tubo: quest'ultimo risuona immediatamente, e rinforza grandemente il suono primitivo. È da ciò che negl'istrumenti a corda, l'aria contenuta nella cassa contribuisce grandemente a rinforzare il suono: la colonna d'aria ha in questi strumenti una gran larghezza relativamente alla sua altezza, e può così rispondere a diversi suoni e ai loro armonici. D'altra parte la vibrazione della massa d'aria ha luogo in direzioni molto diverse, è prodotta da tutte le parti da corpi solidi all'unisono, onde è impossibile che questa massa d'aria non finisca per vibrare al loro unisono, e non rinforzi così il suono principale.

Possiamo concludere da tutto ciò, che se in un sistema o riunione qualunque di corpi, una parte qualunque di questo sistema è messa in vibrazione in una direzione determinata, tutte le parti che entrano nella composizione del sistema oscillano secondo linee in generale parallele fra loro, e parallele alla retta secondo la quale si è messa in moto la prima parte del sistema. Tutto il sistema si divide in parti che vibrano separatamente all'unisono, e in generale viene così rinforzato il suono. In queste vibrazioni secondarie prodotte dalle vibrazioni trasmesse, può trovarsi la cagione fisica del *timbro* dei suoni.

Noi possiamo ora determinare in che consiste la risuonanza dei corpi, e come può ottenersi in diverso grado. L'intensità del suono prodotto da un corpo qualunque che vibra, è accresciuta dalle vibrazioni dei corpi sonori con cui è a contatto, dalle vibrazioni dei corpi lontani che possono produrre uno dei suoni *armonici* e che vibrano per le ondulazioni che gli si trasmettono dall'aria, e infine dai suoni riflessi, che non lasciano fra la partenza e il ritorno delle onde sonore che un intervallo di tempo più piccolo di quello dell'emissione del suono. Da ciò le regole generali per la costruzione di una sala da musica: il luogo da cui par-

te il suono deve esser quanto più si può isolato dalla massa dell'edifizio; l'orchestra vuol esser posta sopra una cassa d' aria come le corde sopra un violino,e le pareti della sala devono esser atte a riflettere i suoni, e non a disperderli entro buchi, o ad affogarli con panni od altri corpi non elastici.

Per compiere ciò che spetta alla comunicazione del suono m' è duopo parlarvi dell'orecchio e del modo con cui quest' organo serve all' udito. Nell' uomo esso si compone di un apparecchio esterno che chiamiamo *padiglione*, e che ha la forma d' un cornetto acustico quando gli si consideri aggiunto il condotto o canale auditivo. Questa parte esterna dell' orecchio sembra appunto destinata a raccogliere le onde sonore dentro questo canale; ed infatti in tutti quegli animali in cui il padiglione è mobile, la sua apertura si dirige verso quella parte di dove viene il suono che si vuol sentire. L' animale che fugge la dirige di dietro, quello che insegue la dirige in avanti. Una membrana sottile e tesa, *la membrana del timpano*, chiude il canale auditivo e separa la parte media dell' orecchio dalla parte esterna : di dietro a questa membrana trovasi una cavità che si chiama *cassa del timpano*, e nella quale l' aria che vi è contenuta è in comunicazione coll' aria esterna per mezzo della così detta *tromba d'Eustachio*. In questa cassa la parete opposta alla membrana del timpano ha due aperture chiuse da membrane sottili, una delle quali si chiama *finestra ovale*, l'altra *finestra rotonda*. Una catena composta di quattro piccoli ossi, cioè *il martello*, l' *incudine*, l' *osso lenticolare* e la *staffa*, è fissata colle sue estremità da una parte alla membrana del timpano, coll' altra sulla membrana della finestra ovale. Di dietro a questa s' apre un canale osseo chiamato *chiocciola*, il quale comunica con una cavità più grande detta *vestibulo*, che termina di dietro alla membrana della finestra rotonda. Sboccano nel vestibulo i tre canali semicircolari. L'insieme della chiocciola, del vestibulo e dei canali, dicesi *laberinto*. In questa cavità, vestita internamente di una membrana sottilissima ed empita di un liquido, si espande il nervo acustico.

Sin qui conosciamo assai poco qual parte abbiano questi diversi organi, che ho in breve descritto, nella funzione dell' udito. Tanto più ignoriamo l' uso di molti di questi, in quanto che in moltissimi animali quest'apparecchio è assai più semplice di quello di cui si è parlato, e che in molti casi la loro mancanza su di noi stessi non toglie questa funzione. Tuttavia, dopo ciò che abbiamo detto, possiamo credere che la membrana del timpano debba vibrare all'unisono del suono che vi agisce sopra. La catena dei piccoli ossi ha probabilmente per funzione di trasmettere le vibrazioni della membrana del timpano al laberinto, come fa l' *anima* negl' istrumenti a corda. Può anche servire questa catena a tender più o meno queste membrane a fine di far variare l'ampiezza delle sue vibrazioni. La tensione della membrana del timpano ha pure una grande influenza sui limiti dei suoni percettibili. Onde conservare costante questa tensione, serve la comunicazione dell'aria contenuta nella cassa del timpano coll'aria esterna. Infatti se l'aria di questa cavità fosse in qualche circostanza rarefatta, prenderebbe la membrana una forma concava per la pressione esterna, e cesserebbe di trasmettere i suoni molto gravi. Questa parte dell' apparecchio dev' essere essenziale: la sordità avviene quando la comunicazione coll'aria esterna è tolta. Lo spandersi del nervo in un liquido e la presenza di questo liquido, sono pure essenziali a questa funzione: una tale disposizione è comune a tutti gli organi delle sensazioni. Non ci è noto qual sia il grado di sensibilità di quest' organo negli altri animali; ma possiamo credere che la molta complicazione del nostro serva ad accrescerne la sensibilità ed a farci scoprire nei suoni qualità non conosciute da loro.

LEZIONE XXXI.

Suoni degl'istrumenti a vento. — Teoria dei tubi sonori di Daniele Bernoulli. — Modificazioni di questa teoria. — Organo vocale.

I gas che abbiamo considerato sin qui come capaci di trasmettere i movimenti vibratori che vengon loro comunicati dai corpi solidi e liquidi, possono anche per diversi modi mettersi in uno stato costante di vibrazione, e divenire ancor essi veri corpi sonori. Qualunque colpo un po' forte dato all' aria, come un colpo di frusta, un'esplosione, una scarica di elettricità, metton l'aria in vibrazione, producono un rumore, che sappiamo bene non differire dal suono come lo abbiam definito, se non perchè queste vibrazioni sono di una durata troppo corta, troppo irregolari, e non atte perciò a produrre un

suono apprezzabile. Se questi colpi dati all' aria si ripetessero periodicamente e con una certa rapidità, è certo che potrebbe aversene un suono distinto. È questa la origine del suono più o meno grave che si ha introducendo una piccola fiammella di gas idrogene entro un tubo di vetro o di metallo. L' idrogene nel bruciare si combina all'ossigene dell'aria, forma del vapor d'acqua che rapidamente si condensa, e si risolve in rugiada che vedesi bagnare l'interno del tubo. Vi sono perciò ad ogn' istante delle rarefazioni o spazi vuoti prodotti dal vapor condensato, e nei quali l' aria si precipita con violenza. Ripetendosi successivamente questi movimenti dell' aria, ne viene il suono più o meno intenso, più o meno grave, secondo il volume della fiamma e le dimensioni del tubo. Questa spiegazione è confermata da un' esperienza di De la Rive: l'illustre Fisico ginevrino ha ottenuto un suono più o meno intenso facendo entrare in un tubo di vetro o di metallo il getto del vapor d' acqua o di mercurio.

È specialmente quando la corrente dell' aria passa per un foro con una certa velocità, che il suono prodotto dalle vibrazioni dell' aria diviene distinto e valutabile. Più volte avete udito il fischio dell'aria che entra per un foro nel vuoto della macchina pneumatica. Crescendo la rapidità della corrente per una data apertura, il suono diviene più acuto, ciò che accade anche quando la stessa corrente si fa passare per un foro più stretto. Se poi la corrente d' aria nel passare per un foro forza una lamina elastica, un corpo membraniforme qualunque a mettersi in vibrazione, il suono è molto rinforzato, come avviene soffiando contro un pezzo di carta o un altro corpo elastico qualunque. Nelle canne da organo il movimento vibratorio è prodotto in un modo assai difficile ad analizzarsi. Una corrente d'aria fornita da un serbatoio in cui ha una forza elastica superiore a quella dell' atmosfera, basta per far vibrare la massa d'aria contenuta nel tubo, se il suo orifizio è disposto ad *imboccatura di flauto*. Si sa che in quest'istrumento il soffio dell' aria è diretto contro gli orli di un'apertura tagliata a bietta. Si può quindi ammettere che la corrente dell' aria rompendosi contro questo spigolo acuto entri in vibrazione, e comunichi il suo movimento oscillatorio alla colonna dell' aria contenuta nel tubo. Potrebbe per altro anche dirsi, e forse con più fondamento, che lo scolo del gas è accompagnato da vibrazioni, come abbiamo visto esserlo pure lo scolo dei liquidi. Ma qualunque sia il modo con cui queste vibrazioni si producono nel flauto, è certo che è identico a quello per cui si producono le vibrazioni nella colonna d' aria delle canne da organo. In queste v' è pure una *bocca che parla* allorchè l' aria è spinta contro il suo orlo più elevato assottigliato a ugna, e chiamato perciò *labbro superiore*. Nell' apparecchio, (*Fig.* 61) che è un piccolo organo, vedesi un mantice che spinge l' aria in una cassa munita di tanti fori, i quali ricevono i piedi delle canne. A tutti questi fori è applicata una valvula, che non può aprirsi per lasciare entrar l'aria nel tubo, se non quando si abbassa per mezzo di un bottone. Basta quest' apparecchio per la dimostrazione sperimentale della teorica dei tubi sonori.

Molto di leggieri si conferma colla esperienza, nel caso dei suoni ottenuti dalle canne d' organo e dai tubi sonori in generale, che il corpo sonoro è sempre l' aria. Osservate questi diversi tubi di legno, di carta, di piombo, e che hanno tutti una stessa lunghezza: uno di questi, quello di legno, è anche diverso di forma dagli altri tubi. Udite il suono che se ne ha facendoli suonare o assieme o separatamente. Il timbro, o l'intensità del suono, sarà ben diverso pei diversi tubi; ma il grado dell' acutezza sarà eguale per tutti. Perchè varii l'acutezza del suono prodotto dal tubo, basterà che sia varia la sua lunghezza: udite i diversi suoni dati da questa serie di tubi che decrescono in lunghezza, e vi sarà facile di riconoscere che vi sono dei rapporti determinati fra il grado dell'acutezza del suono e la lunghezza del tubo da cui è prodotto. A misura che le lunghezze dei tubi decrescono, cresce l' acutezza del suono che ne è prodotto. Variano anche i suoni prodotti dai tubi facendo variare la grandezza della *bocca* o la velocità della corrente d' aria: sentite infatti che soffiando più forte colla bocca in questi tubi o comprimendo maggiormente il soffietto, il suono che se ne ha diviene sempre più acuto. Le leggi date da Bernoulli le quali stabiliscono il rapporto fra i suoni, le lunghezze dei tubi che li producono e la velocità della corrente d' aria che li fa suonare, sono diverse secondo che il tubo è chiuso ad un' estremità o aperto alle due estremità. Onde semplificare il fenomeno dei tubi sonori convien considerare la corrente che mette in vibrazione l' aria del tubo, come se agisse unicamente sopra un primo strato infinitamente sottile di quest' aria, al di là della quale il movimento si comunica regolarmente sino all'estremità del tubo chiuso. Conviene inoltre ammettere che la velocità e la densità della corrente sieno invariabili, e appunto l' osservazione ci mostra che queste due circostanze sono necessarie per pro-

durre un suono sostenuto ed uniforme. Risulta da ciò, che in tutti i modi di ondulazione che può prendere la colonna d'aria vibrante, la lamina estremamente sottile d'aria che sfiora il suo orifizio e che può considerarsi come il suo primo strato, non fa che entrare appena e poi sortirne, ripetendo periodicamente e con rapidità questi movimenti, senza provare nè condensazioni nè dilatazioni. È per questi suoi movimenti che si eccitano nella colonna d' aria del tubo le ondulazioni longitudinali alternativamente condensate e rarefatte che partono dall'orifizio, e si propagano verso il fondo del tubo chiuso colla velocità ordinaria del suono. Arrivate queste ondulazioni sul fondo, si riflettono sopra loro stesse, e continuano a propagarsi esattamente come avrebbero fatto, se la colonna d' aria si fosse continuata di là dal tubo. Queste due serie di ondulazioni, dirette e retrograde, non eccitando nella colonna d' aria che movimenti estremamente piccoli, si sovrappongono senza confondersi, pel principio che già abbiamo esposto, e lo stato degli strati d' aria è lo stesso che sarebbe, se fossero ad ogn' istante soggetti alla somma delle due impulsioni, diretta e riflessa. Partendo da questa teoria si vede che i diversi modi di vibrazioni regolari, che la colonna d' aria contenuta nel tubo può prendere, sono sempre soggetti a due uniche condizioni, cioè: 1. che il fondo chiuso del tubo sia un *nodo* di vibrazione in cui le parti dell' aria sieno immobili, 2. che l' orifizio aperto sia un punto in cui la densità dell' aria rimanga invariabile, e siano massimi la velocità e il movimento di traslazione. Nel caso delle vibrazioni longitudinali di una corda o verga abbiamo chiamato *ventre* cotesto punto, e così ancora lo chiamiamo per le colonne d'aria che vibrano nei tubi sonori. Difatto le variazioni di velocità e di densità dei diversi strati seguitano quello stesso ordine di successione, che si è analizzato nei movimenti longitudinali di una corda o verga. I Principî di Bernoulli si riducono a questi: 1.° il fondo del tubo chiuso dev' essere un nodo di vibrazione in cui le parti dell' aria sieno immobili; 2.° un ventre di vibrazione dev'essere all'orifizio: questo ventre è il mezzo di una porzione vibrante della colonna, in cui non avviene variazione di densità; 3.° la lunghezza di una porzione vibrante della colonna è eguale alla lunghezza dell' onda che corrisponde al suono prodotto. Accrescendo la velocità della corrente, la colonna fluida si divide, come accade nelle corde e nelle verghe che vibrano longitudinalmente, in diverse parti che vibrano all'unisono e in senso contrario, separate l'una dall'altra da un nodo. Vi sono in tal guisa diverse maniere di vibrazione che soddisfano alle condizioni stabilite, e che perciò sono indicate dalla teoria ed esattamente confermate dall' esperienza.

La più semplice di coteste maniere è quella in cui l'estensione dell'onda è doppia della lunghezza del tubo a modo, che la sua metà occupi tutta la lunghezza del tubo. È questo il caso del tubo chiuso nel fondo dove si forma un nodo, allorchè dà il suono più grave, e che è il più grave di tutti i suoni che il tubo possa rendere in qualunque circostanza. In questo caso la colonna d' aria oscilla senza dividersi dall' orifizio sino al fondo chiuso, e da questo all'orifizio: all' orifizio la densità è costante e massimo il movimento, mentre invece al fondo chiuso è nullo il movimento e massima la condensazione e la rarefazione. È facile di determinare la durata di questo genere di vibrazioni. Allorchè un' onda sonora di una lunghezza L si propaga in una colonna cilindrica d' aria facendo vibrare successivamente ciascuno dei suoi strati, il tempo che s' impiega in questa vibrazione è dato dall' equazione $L = a\, T$ in cui a è la velocità del suono. È conosciuto questo tempo T, che si determina nei nostri tubi quale è il modo di divisione della colonna d' aria che oscilla. L nel nostro caso, o la lunghezza dell' onda, è $= 2\, l$ essendo l la lunghezza del tubo, da cui $T = \frac{2\, l}{a}$ cioè la durata dell'oscillazione, e da cui si ha anche $\frac{1''}{T} = \frac{a}{2\, l}$ cioè il numero delle oscillazioni in 1". Il secondo modo di vibrazione del tubo chiuso è quello in cui si forma un altro nodo oltre quello che è nel fondo costantemente. Il nodo è a 1|3 dall' orifizio e la lunghezza totale L dell'onda è 2|3 di quella del tubo. La lunghezza totale del tubo è rappresentata perciò dalla lunghezza di un' onda e più da quella di una mezza onda, ciò che dà $l = \frac{3\, L}{2}$, per cui $T = \frac{2\, l}{3\, a}$, e $\frac{1''}{T} = \frac{3\, a}{2\, l}$. Le vibrazioni in questo modo son dunque triple nello stesso tempo di quelle del modo precedente, per cui espresso il primo suono per *do*, il secondo suono è *sol*, che è espresso da 3. Seguitando collo stesso ragionamento, si trova che le serie dei suoni dati dal tubo chiuso è espressa dai numeri 1, 3, 5, 7.

Allorchè il tubo è aperto alle due estremità, vi si formano necessariamente nel modo più semplice di vibrazione due ventri alle due estremità aperte, separati da un nodo in mezzo; la lunghezza dell'onda è perciò la lunghezza del tubo, e quindi è doppio il numero delle vibrazioni di quello che si

ha dallo stesso tubo allorchè è chiuso. Un tubo chiuso fa dunque sentire per primo suono l'ottava bassa del primo suono che dà lo stesso tubo aperto.

L'altro modo più semplice di vibrazione del tubo aperto è quello nel quale si formano fra i due orifizi due nodi di vibrazione e un ventre in mezzo, come ve ne sono due ai due orifizi. La lunghezza dell'onda è in questo caso eguale alla metà della lunghezza del tubo, e quindi il numero delle vibrazioni del suono precedente dello stesso tubo. Se però il primo suono è *do* il secondo è do_2. I suoni del tubo aperto si trovano così espressi dalle serie 1, 2, 3, 4, 5, ec.

Queste leggi, dedotte dalla teoria di Bernoulli possono verificarsi coll' esperienza e colla maggiore esattezza, purchè i tubi abbiano una gran lunghezza in confronto del loro diametro, e purchè le vibrazioni vi sieno eccitate a pieno orifizio. Pei tubi chiusi si adoperano lunghi tubi o canne da organo, nell'interno dei quali si muove uno stantuffo che serve ad indicare colla sua posizione quella dei nodi: è chiaro che il suono non cambierà se lo stantuffo occupa la posizione di un nodo, essendo sempre un nodo un punto in cui la velocità è zero come lo è il fondo chiuso. Per i suoni dei tubi aperti si praticano aperture lungo il tubo, che possono successivamente esser chiuse: i ventri corrispondono alla posizione dei fori, i quali posson rimanere aperti senza che il suono cambi. Un ventre è un punto della colonna in cui la densità dell'aria è invariabile. Per dimostrare il rapporto fra la lunghezza del tubo e il suono che rende, si può adoperare una serie di tubi diversamente lunghi, oppure un tubo fatto a cannocchiale.

Allorquando i tubi son corti, queste leggi del Bernoulli devon essere modificate. Savart ha trovato che affinchè questi tubi rendano un dato suono devono essere tanto più corti quanto più è grande la loro sezione. Risulta dalle esperienze di questo Fisico, che il suono la_3 prodotto da onde lunghe 172 linee e $^4/_5$ può ottenersi da tubi aperti aventi per lunghezza 170,156,144,132,127 e 90 linee, allorchè i loro diametri sono di 15, 37, 54, 96, 125 linee. Anche la materia dei tubi influisce sul suono che possono produrre; dove questi abbiano una parete molto grossa, la materia del tubo non influisce sul numero delle vibrazioni che può produrre la colonna d'aria che contiene: ma nel caso contrario la materia stessa del tubo entra in vibrazione, e modifica il suono che produrrebbe la colonna d'aria vibrando isolatamente. Così nei corni e nelle trombe, secondo che la parete è più o meno grossa, il suono è vario non solo di timbro ma di acutezza: basta toccare colla mano quest' istrumenti allorchè suonano, per sentirli vibrare. Con tubi di un piede di lunghezza e di nove linee di diametro formati da fogli di carta incollata a più doppi e in un numero che cresca da 2 a 12 di questi fogli, si hanno dei suoni che si innalzano da sol_2 a si_3.

Adoperando diversi gas per far suonare un tubo stretto molto lungo e chiuso ad un' estremità, cioè nelle condizioni volute dalle leggi di Bernoulli, si trova che collo stesso modo di divisione della colonna si ottengono dei suoni tanto più acuti, quanto più è grande la velocità del suono nel gas che si adopera. Questa conseguenza della teoria è evidente: infatti le onde sonore che si propagano nell'aria hanno per lunghezza lo spazio che il suono percorre nell'aria o gas qualunque, nel tempo impiegato a percorrere nel tubo l'intervallo fra due nodi vicini. Da ciò avviene che i suoni resi da diverse colonne gassose sono reciprocamente proporzionali alle radici quadrate delle loro densità a pressione eguale, e che il suono è assai più acuto facendo *parlare* un tubo con del gas idrogene, di quello che con qualunque altro gas: si sa che la velocità del suono nei diversi gas è in ragione inversa della radice quadrata della loro densità. Dipende probabilmente da questa influenza l' acutezza singolare che prende la voce umana inspirando il gas idrogene, ed empiendone i polmoni.

Da questi principî si parte per determinare la velocità del suono nei diversi gas. Si fa perciò *parlare* uno stesso tubo con diversi gas: si determina collo stantuffo mobile la posizione dei nodi, e si conta colla sirena, alla quale si fa rendere lo stesso suono che dà il tubo, il numero delle vibrazioni che corrisponde a quel suono. La distanza di due nodi vicini è eguale allo spazio che il suono percorre nel gas nel tempo di una vibrazione. Dulong con una serie estesissima di esperienze che possono servire di vero modello nell'arte di sperimentare, ha riconosciuto che la natura varia del fluido elastico non porta alcun cambiamento nella posizione delle linee nodali, o nel modo di divisione delle colonne sonore dei diversi gas. Si deduce da ciò, che i numeri delle vibrazioni dei suoni prodotti dallo stesso tubo fatto parlare con diversi gas sono proporzionali alle velocità di propagazione del suono in questi diversi gas. Conosciuta la velocità del suono nell'aria, si può con questo mezzo calcolar facilmente quella del suono negli altri gas. Così ottenersi da Dulong le velocità del suono nei diversi gas, che già abbiamo descritte; vedremo nel trattato del Calore qual vantaggio ritraesse da ciò l' in-

gegno di questo gran Fisico, troppo presto involato alla scienza.

La costruzione dei diversi strumenti a fiato è fondata sopra le teorie esposte in addietro. I corni, le trombe, i flauti sono tutti veri tubi coll' imboccatura a flauto, e che suonano come le canne da organo. Si ripiegano in mille maniere per potere senza incomodo tener lunga la colonna sonora. È l'aria che spingiamo dai polmoni che forma la corrente: e regoliamo colle labbra la velocità dell'aria e le dimensioni della bocca dell' istrumento, a modo di ottenere dallo stesso tubo tutta la serie dei suoni che può dare. Serrando più o meno colla mano l'apertura del tubo se ne modificano i suoni, passandosi così per gradi dal tubo aperto al tubo chiuso. La forma conica che si dà al padiglione di questi strumenti, non serve che a cambiare il timbro e l'intensità dei suoni.

Mi rimane a parlarvi degl' istrumenti da fiato a *linguetta* o *ancia* nei quali i tubi servono, più che a produrre, a rinforzare, il suono. Il vero corpo sonoro è in questi strumenti una lingua metallica fissa ad una estremità, applicata sugli orli di un orifizio fatto sulla parete di un tubo. La linguetta può divenire più o meno lunga per mezzo di un filo metallico che scorre sulla sua lunghezza; questo filo che preme sulla linguetta, si chiama *rosetta*. Molti istrumenti sono costruiti a ancia. Le armoniche a bocca non sono che tante linguette applicate ad altrettanti fori fatti in una piccola scatola, entro cui si soffia l'aria colla bocca. In tutti i casi la teoria del suono prodotto dalla linguetta è questa: allorchè si soffia, la linguetta è spinta fuori dell' apertura su cui posa, ed è spinta fuori sino a tanto che la sua elasticità, che cresce proporzionalmente alla sua flessione, faccia equilibrio alla forza della corrente. Intanto questa pressione della corrente è diminuita essendosi allargato l' orifizio: la forza elastica diviene perciò capace di ricondurre la linguetta al suo posto. Allora è di nuovo respinta, e così di seguito. Nascono in tal modo dei colpi, che si ripetono sull'aria e la fanno vibrare: è evidente l'analogia fra questo modo di produr suono, e quello della sirena.

Il suono della linguetta è molto modificato allorchè questa è aggiustata sopra un tubo. In questo caso l'aria invece di escire liberamente, è obbligata a percorrere il tubo, e l'istrumento è composto di due parti che vibrano con leggi diverse. Il suono che se ne ha non è più quello solo che darebbe il tubo separatamente. Le belle ricerche di Weber hanno provato che l'unione del tubo ad ancia rende costantemente più grave il suono dato da quest'ultima. Pare che questo Fisico cerchi di spiegare il suono prodotto dalle linguette senza ricorrere ai colpi successivamente e periodicamente comunicati all'aria, e crede che le linguette producano il suono colle loro proprie vibrazioni.

Müller ha fatto un gran numero d'osservazioni costruendo linguette con pezzi di membrana: un tubo chiuso a metà da una membrana, e per l' altra metà da un corpo rigido, come legno o cartone, dà suoni pieni e puri, soffiando all'altro orifizio del tubo. Variando molto le forme di queste linguette membraniformi, trova da farne l'applicazione alle nostre labbra che soffiano nel flauto e in altri istrumenti.

I colpi della linguetta contro gli orli dell' orifizio producono un suono rauco e sgradevole. Grenier ha immaginato delle linguette un po' più strette dell' apertura che devono chiudere, e che perciò vibrano liberamente senza toccare i margini del foro. Queste disposizioni rendono i suoni molto più dolci. Un altro vantaggio della disposizione immaginata da Grenier consiste nel fare che le dimensioni e la rigidità della linguetta sieno determinate in modo che essa non possa prendere inflessioni, e così vibrare divisa: in questo modo le variazioni della velocità dell' aria non fanno che render più ampie le oscillazioni della linguetta, e perciò variano le intensità dei suoni senza alterarne l'acutezza.

Il clarinetto, il fagotto, le armoniche comuni, sono istrumenti a linguetta o ad ancia.

Dopo aver data la teoria degl' istrumenti da fiato, mi rimane da descrivervi l' organo della voce, e da esporvi i principî del suo meccanismo. L'aria contenuta nei polmoni, spinta fuori dall'azione dei muscoli pettorali, passa attraverso ad un canale di cui la forma è varia nei suoi diversi punti, e che costituisce l'apparecchio vocale. Il tubo che dà l'aria è la *trachea* terminato superiormente colla *laringe*, che è il vero apparecchio della voce. Vedesi nella *Fig.* 71 una sezione per il lungo della laringe umana; A B e C D sono membrane o ligamenti che stringono la sezione della laringe, e chiamansi ventricoli della laringe i due rigonfiamenti laterali che separano i legamenti inferiori dai superiori. Lo spazio compreso fra queste due strozzature chiamasi *glottide*. Al disopra del foro della laringe v'è una specie di lingua fibro-cartilaginea che s'abbassa più o meno sulla glottide essendo fissa da una parte: questa vera valvola, detta *epiglottide*, chiude esattamente il foro della glottide quando si fa la deglutizione.

Si è lungamente questionato per iscopri-

re su quali principi è fondato il meccanismo che produce la voce. Quest'organo è stato per molto tempo riguardato come un istrumento da fiato, poi come un istrumento a linguetta, e successivamente le due ipotesi sono state o accolte o rigettate. Allorchè si riflette qual grande sforzo converrebbe fare per produr suono e variarlo contraendo più o meno le così dette corde vocali, è difficile sulle prime di poter credere che l'organo della voce sia un istrumento a linguetta. Oltre che poi, qual ufficio avrebbero in questa ipotesi i ventricoli, i ligamenti superiori? Le belle ricerche di Savart farebbero credere che il passaggio rapido dell'aria nella laringe attraverso alle aperture della glottide producesse il suono, come si fa in un piccolo istrumento detto *richiamo*, e che serve ai cacciatori per imitare la voce degli uccelli. Questo apparecchio si compone essenzialmente di una specie di tamburo di dimensioni picciolissime, le di cui facce hanno due fori centrali corrispondenti: si serra fra le labbra questo tamburo, si aspira l'aria con più o meno forza, e si hanno dei suoni diversi. Spingendo una corrente d'aria in questo istrumento per mezzo dell' apparecchio già adoperato (*Fig.* 61), si ottiene una serie di suoni che comprendono l'estensione di due ottave, facendo variare la velocità della corrente; l'acutezza dei suoni di questa serie dipende unicamente dal diametro dei fori. Il suono si produce nel modo seguente: la corrente d'aria che traversa i due orifizi spinge dinanzi a sè una porzione della massa d'aria contenuta nella cavità del tamburo, e la sua forza elastica è così diminuita; allora l'eccesso della pressione atmosferica reagisce per diminuire la velocità della corrente e ritenere nel tamburo una massa d'aria maggiore di quella che vi è contenuta nello stato d'equilibrio; per questa compressione si riproduce l'effetto inverso. Nasce così dalla successione rapida delle suddette alternative, il suono del richiamo. Ora può vedersi l'analogia fra questo piccolo apparecchio e una parte dell'organo vocale: i due orifizi formati dalle labbra della glottide tengon luogo dei due fori del richiamo, i ventricoli costituiscono il tamburo, il mantice dell'organo con cui può farsi suonare il richiamo è rappresentato dall' apparecchio polmonare.

La parte inferiore della laringe serve di portavento, e la colonna d'aria che essa contiene vibra certamente all'unisono dei suoni prodotti nella glottide. La gola, la bocca e le fosse nasali hanno una grande influenza sull' intensità e sul timbro del suono, nel modo stesso che l' ha il tubo superiore degl' istrumenti a linguetta. Basta di comprimersi il naso colle dita, perchè cessando l'aria di escire pel naso ciò che appunto è il contrario di quel che significherebbe l'espressione comune *di parlare in naso*, la voce prenda all'istante un timbro particolare.

Müller, Weber ed altri sono in questi ultimi tempi giunti a mostrare con molte ricerche sperimentali, che conveniva riguardare l'organo vocale dell' uomo come uno strumento a linguetta a due labbra membraniformi. Müller prepara una laringe artificiale con linguette di gomma elastica, la quale ha suoni molto analoghi a quelli che darebbe la laringe umana. Il fatto scoperto da Müller di suoni resi da questa laringe artificiale anche quando vi è un foro fra i due ligamenti, cioè nella cassa del richiamo, è molto in opposizione alla teoria di Savart.

FENOMENI ELETTRICI

LEZIONE XXXII.

Fenomeni generali dell'elettricità. — Corpi buoni o cattivi conduttori dell'elettricità. — Due specie di elettricità. — Ipotesi di Symmer e di Franklin.

Le proprietà che abbiamo studiate sino ad ora nei corpi, e le forze di cui abbiam determinate le leggi, sono essenzialmente associate alla materia; in ogni corpo le molecole si attirano reciprocamente, ogni corpo cade abbandonato a se stesso, e sostenuto pesa sugli appoggi che lo reggono. È costante l'effetto delle cause di questi fenomeni. Le proprietà che passiamo ora a studiare appartengono alla materia temporariamente; e mentre agiscono colla maggior energia e son capaci di effetti meccanici potentissimi, non ci accorgiamo che avvenga nei corpi in cui si sviluppano alcun cangiamento ponderabile. Parlando della Gravità ho cercato di mostrarvi come i diversi modi di agire di questa forza nei diversi casi e secondo il vario stato della materia sian tutti legati ad una legge generale, che è quella dell'attrazione Newtoniana. È dunque una teoria fisica perfetta quella che abbraccia questo ramo della filosofia naturale. Ma i fenomeni che passiamo a studiar oggi, sono ancora troppo lontani dall'avere un fatto unico, un principio generale che tutti gli abbracci, posciachè la teoria fisica dell'*Elettricità* si compone ancora di vari gruppi di fatti, ciascuno de' quali è più o men bene spiegato con un'ipotesi particolare. Nè vale già che fra un gruppo e l'altro sorgano di tempo in tempo dei fenomeni di transizione che ci mostrino da longi la origine comune; che non vi manchino anche punti di ravvicinamento fra i fenomeni elettrici e quelli del *Calorico* e della *Luce*, e che ogni dì si scoprano nuove analogie fra queste grandi forze della natura; perchè tutto è ancora oscuro, slegato, nè altro perciò vi si mostra se non che rimangono a farsi grandi scoperte, e che all'umano intelletto è aperto un vasto campo di conquiste. Nulla insomma vi è di più variato nel suo modo d'agire, nulla di più esteso dell'elettricità: nei fenomeni i più delicati dell'organismo, nei fatti i più grandi e i più straordinari dell'atmosfera e del globo, in tutti interviene, se non è forse l'unica causa, l'elettricità. È invano ch'io tenterei di esporvi la teoria fisica dell'elettricità come lo feci della gravità: laonde dobbiamo contentarci di percorrerla in tante parti disgiunte. Se non che cercheremo di riunire in categorie i diversi fatti, e di mostrarvi poi qual legame vi è fra di esse, quali sieno i punti di contatto.

Tutti i fenomeni elettrici che noi conosciamo distintamente possono comprendersi in due grandi ordini. Eccovi un cilindro di ottone *elettrizzato* con un mezzo particolare, che più innanzi descriverò estesamente: questo cilindro, siccome vedete, attira a sè i corpicciuoli leggieri, come la carta, il cotone, una piuma ec.; poi li respinge, e di nuovo li attira, e li respinge, e così di seguito. Tocco questo cilindro con la mano, con una verga di metallo la quale comunica col suolo, e all'istante ei cessa di attrarre e respingere i corpi leggieri. Avvicino al cilindro elettrizzato un dito, un filo metallico, e prima che giunga a toccarlo, veggo scoccarne una scintilla. Tocco il cilindro con un

tubo di vetro, un bastone di ceralacca, ed egli rimane ancora elettrizzato, ancora attira e lancia scintille. Lascio a sè questo cilindro, e se ciò avviene in certe particolari circostanze, che poi studieremo, conserva invariabilmente le sue proprietà, nè ha bisogno per conservarle, che si riproduca l'azione che lo ha elettrizzato.

Eccovi ora un filo di rame unito colle sue estremità ad un apparecchio che conosceremo in appresso: questo filo è pure elettrizzato; ma le proprietà che egli presenta sono affatto distinte da quelle riconosciute nel cilindro d'ottone. Non più attrazione e repulsione successiva dei corpi leggieri, non più scintilla sul dito o sul filo metallico che gli avvicino, non più distruzione del suo stato elettrico pel contatto della mano o di un filo metallico. Le proprietà insomma che compongono il suo stato elettrico si spiegano diversamente da quelle del cilindro d'ottone. Lo avvicino ad un ago da *bussola*, ad una *calamita*, e all' istante l'ago e la calamita si muovono dalla loro posizione per prenderne un'altra, in cui persistono finchè tengo vicino il filo. Se interrompo questo filo elettrizzato immergendolo entro l'acqua, vedete subito le sue estremità immerse coprirsi di bolle gassose; e allorquando raccoglieremo questi gas, ci assicureremo che in questo caso è l'acqua che si scompone, è che il suo gas idrogene si raccoglie sopra una delle estremità, mentre l' ossigeno si volge sull'altra. Osservate ciò che avviene interrompendo ancora questo filo elettrizzato, e toccando colle sue estremità le membra di una rana scorticata: essa si scuote, si agita, si contrae violentemente. Toccate questo filo colla mano, circondatene la palla di un termometro, e presto v'assicurate della sua alta temperatura. Distaccate infine questo filo dall'estremità dell'apparecchio che lo elettrizza, e tutto cessa all' istante.

Eccovi adunque le due grandi categorie di fenomeni nelle quali può dividersi la teoria fisica dell'elettricità. I fenomeni del cilindro d'ottone elettrizzato chiamansi di *elettricità statica*, di *elettricità di tensione*, dell'*elettro-statica*; i fenomeni del filo di rame diconsi di *elettricità dinamica*, *elettricità in corrente*, dell'*elettro-dinamica*. Ci faremo da tenervi discorso de'primi; passeremo poscia ai secondi, e studiando quindi il legame che v'è fra di essi, impareremo a conoscere per quali mezzi possano gli uni trasformarsi negli altri: infine ci occuperemo delle sorgenti o dei mezzi diversi onde produrre e gli uni e gli altri.

Cominciamo l'elettro-statica. Confrico un bastone di ceralacca, un tubo di vetro, un pezzo di resina, di ambra, un cannello di zolfo, con un panno di lana, con una stoffa di seta, con una pelle di gatto ec., e poi avvicino il corpo confricato a pezzetti di carta, a foglie di oro, ad una pallina di midolla di sambuco sospesa ad un filo: tutti questi corpicciuoli vi si lanciano sopra, ne sono *attratti*. È questo il fenomeno fondamentale dell'elettricità, così denominata dalla greca parola ἤλεκτρον significante ambra gialla, perchè sopra questo corpo fu osservato la prima volta da Talete, 600 anni avanti G. C. Solo verso il fine del XVI secolo il medico inglese Gilbert riconobbe che la virtù di attrarre i corpi leggieri si sviluppava colla confricazione in un gran numero di corpi. È inutile ch' io vi dica che se il corpo leggiero fosse l'elettrizzato, e se il non elettrizzato fosse invece il corpo fisso o il più pesante, vedreste il corpo elettrizzato correr su questo. Eccovi un pendolino (*Fig.* 33) costruito sospendendo ad un filo di seta una pallina di midolla di sambuco, che elettrizzo con la macchina elettrica che più innanzi descriveremo, accostandovi la mia mano, o un pezzo di metallo, il pendolino che è elettrizzato corre verso la mano o il metallo. In tutti i casi veggiamo dunque un' azione attrattiva aver luogo fra il corpo che è elettrizzato e quello che non lo è. Operando sopra un gran numero di corpi, si trovò sin dai primi tempi che potevano questi distinguersi in due grandi classi, alcuni essendo atti ad acquistare colla confricazione la proprietà elettrica che abbiamo descritto, ed altri no. E di vero se lo confricassi un cilindro di metallo, di carbone, di legno ec., come feci del bastoncino di cera di Spagna o col vetro, non riescirei a rendere quei corpi capaci di attrarre i corpi leggieri. Potrei confricare per quanto tempo si voglia un cilindro metallico tenuto colla mano, e non riescirei mai ad elettrizzarlo. Si sono perciò chiamati *idioelettrici* i corpi elettrizzabili colla confricazione, *anelettrici* quelli che non acquistano la detta proprietà operando su di loro come si fa sui primi. Sono della prima classe il vetro, lo zolfo, l'ambra, la ceralacca ec.; della seconda sono i metalli, il carbone, l'acqua, le sostanze animali e vegetabili non secche ec.

Più tardi per altro si riconobbe che questa distinzione era mal fondata, e che i corpi della seconda classe non erano collocati nelle circostanze convenienti per mostrare l'elettricità che anch'essi sviluppano per confricazione. Ed eccovi alcuni fatti che ci aprono la via per intendere la cagione di questa apparente differenza nei corpi. Confrico al solito il cilindro di vetro o di ceralacca con un drappo di lana, e lo trovo elettrizzato accostandolo, senza toccarlo, al pen-

doiino che ho già descritto, e che veggo essere attratto: dopo ciò stringo colla mano il cilindro di vetro o la ceralacca, lo tuffo nell'acqua, lo metto a contatto del suolo o di una lastra di metallo, e poi lo accosto di nuovo al pendolino. il cilindro di vetro o di ceralacca ha perduto ogni elettricità. Ora fo l'esperienza in diverso modo: tocco il cilindro di vetro o di ceralacca confricato con un drappo di lana, con una stoffa di seta; l'immergo nell'olio di trementina, lo poso sopra un piano di cristallo o di resina, poi l'avvicino al pendolino, e trovo che così operando il vetro e la ceralacca hanno conservato l'elettricità comunicatagli colla confricazione. Adunque pel contatto di alcuni corpi si è nel corpo elettrizzato distrutta ogni proprietà elettrica, la quale poi si è conservata ponendolo in contatto di altri. Così la mano, i metalli, l'acqua, il suolo con che toccai il cilindro di vetro, il bastoncino di ceralacca nella prima sperienza *conducono* l'elettricità, e diconsi corpi conduttori: perciò la lana, la seta, il vetro, l'olio di trementina adoprati nella seconda *non conducono* l'elettricità, e diconsi non conduttori, *coibenti*, *isolanti*. Gray fisico inglese fece nel 1727 la grande scoperta dei corpi conduttori e non conduttori dell'elettricità in questa guisa. Confricando egli un tubo di vetro chiuso da una parte con un turacciolo di sughero, osservò che anche il turacciolo erasi elettrizzato. Sostituì al turacciolo di sughero un cilindro di metallo, e vide che per quanto facesse lunga quest'appendice metallica, appena il vetro era confricato, lo diveniva pure il metallo *in tutti i suoi punti*. In luogo del metallo e del sughero adoperando altro tubo di vetro, o un cilindro di zolfo, di resina, non ottenne che si comunicasse loro l'elettricità del tubo confricato con cui erano a contatto. Dunque il metallo ed il sughero trasmettono l'elettricità; e da ciò siamo condotti ad intendere perchè confricati questi corpi conduttori nel modo ordinario, non si elettrizzano. Se invece di tenere colla mano, che è pur un corpo conduttore, il metallo confricato, si separa dalla mano con un corpo che non dissipi l'elettricità, si giungerà presto ad elettrizzarlo. Un pezzo di metallo sostenuto da un piede fatto di una sostanza non conduttrice, si dice *isolato*. Eccovi una palla di ottone sostenuta da una colonna di vetro; la percuoto con un drappo di lana, e meglio con una pelle o coda di volpe, ed all'istante la palla metallica trovasi elettrizzata. Se tengo in mano la palla, l'elettricità si disperde per la mano e nel suolo, nello stesso tempo che è sviluppata. La stessa palla elettrizzata la tocco con un vetro, con un pezzo di zolfo o di resina, e le sue proprietà elettriche si conservano; appena la stessa palla elettrizzata è toccata colla mano o con un pezzo metallico, ogni sua proprietà elettrica scompare. Si trova infatti che tutti i corpi idioelettrici sono anche non conduttori dell'elettricità, e che tutti i corpi così detti anelettrici sono invece conduttori dell'elettricità. È dunque una proprietà generale dei corpi quella di elettrizzarsi per confricazione: che se non apparo questa proprietà in alcuni, ciò dipende dall'esser essi capaci di disperdere l'elettricità; e basterà d'isolarli perchè si elettrizzino allorchè sono confricati.

Per le cose sin qui discorse avete già acquistato notizia di un certo numero di corpi appartenenti alla classe dei conduttori, e di altri ch'entrano in quella dei coibenti. Più innanzi avremo occasione di parlare a lungo di tutti. Intanto mi conviene dirvi di due che intervengono continuamente nelle azioni elettriche. Uno di essi è l'aria, in mezzo della quale operiamo sempre, e che quindi non è da dubitare che sia un corpo coibente, perchè senza di una tale proprietà sua noi ignoreremmo forse ancora l'esistenza dei fenomeni elettrici. L'altro è il *suolo*, che composto in gran parte di corpi conduttori, si elettrizza al contatto di un corpo elettrizzato. V'è di più: un corpo elettrizzato a contatto del suolo, perde affatto la sua elettricità. Vedremo più innanzi che toccando un corpo elettrizzato con una sfera di metallo isolata, l'elettricità comunicata al corpo toccato è tanto più grande quanto è maggiore il volume della sfera: è dunque evidente che per quanto suppongasi carico un corpo di elettricità, se si farà per mezzo di corpi conduttori comunicare colla terra, tutto vi si dissiperà, essendo incomparabilmente più grande il volume di essa, rispetto a quello del corpo elettrizzato. Per questa ragione nella teoria fisica dell'elettricità la terra è chiamata *il serbatoio comune*.

Passiamo ad esaminare qual'è l'azione fra due corpi elettrizzati. L'istrumento che adopreremo in queste ricerche, sarà ancora la pallina di sambuco (*Fig.* 33), che terremo isolata sospendendola ad un filo di seta. Quest'istrumento semplicissimo, chiamasi comunemente *un pendolo elettrico*. Vedemmo già che avvicinando al pendolo il cilindro confricato di vetro o di ceralacca, ne era questo immediatamente attratto. Ma si avvicini anche di più la pallina al cilindro elettrizzato sino a toccarlo: il contatto non durerà che un istante, e la pallina sarà tosto *respinta*, nè correrà più contro il cilindro elettrizzato sino a che conserva la elettricità da lui comunicatale. Toccando

però la pallina con un corpo conduttore sarà ridotta allo stato suo naturale, e allora si riprodurrà l'attrazione all'avvicinarsi del corpo elettrizzato, poi il contatto, e di nuovo la repulsione. Questi fenomeni si verificano qualunque sia il corpo elettrizzato che s'avvicina al pendolino: il quale in ogni caso appena avrà, toccandolo, ricevuta la elettricità, sarà immediatamente respinto. Un tale sperimento per altro non deve indurvi a credere che l'azion repulsiva sia solo sofferta dal corpo leggiero. Anche nel cilindro accadrebbe un eguale movimento, dove non gli fosse impedito dal troppo peso. Di che potete convincervi se in luogo di un pendolo ne adoperate due, e li avvicinate in modo che le palline si tocchino come nella *Fig.* 76; o costruendo un pendolo doppio coll'attaccare alle due estremità d'un filo di lino flessibile due palline di midolla di sambuco, e col sospendere poi il filo nel suo mezzo ad un corpo coibente. Le due palline si avvicinano da prima al corpo elettrizzato qualunquesia; lo toccano, e immediatamente s'allontanano dal corpo elettrizzato, e l'una dall'altra si respingono nello stesso tempo. Toccate le palline con un conduttore in comunicazione col suolo; esse perdono l'elettricità comunicatagli, e cessano di respingersi fra loro. Un tal risultato può presentarsi in molte maniere. Se ad un piatto metallico elettrizzato colla macchina elettrica avvicino a poco a poco un altro piatto ch'io tengo in mano, e sopra cui son poste alcune palline di sambuco, queste vengono attratte e portate a contatto col piatto elettrizzato, poi tosto respinte su quello che ho nelle mie mani, indi attratte di nuovo e respinte, fino a tanto che il primo piatto rimane elettrizzato. Un filetto d'acqua che esce da un recipiente, qualora sia elettrizzato, presenta assai bene il fenomeno della ripulsione fra le parti del corpo elettrizzato. Infatti osservate che mentre senza elettricità il filetto è limpido e continuo, appena è elettrizzato colla macchina si sparpaglia, si divide in tante gocce. La quale ripulsione che si produce fra le parti dell'acqua e dei liquidi in generale, deve esser cagione dell'aumento di evaporazione nei liquidi allorchè sono elettrizzati, come lo ha ben provato Peltier con le sue recentissime esperienze. Sospendendo una pallina metallica ad un filo isolatore di seta, fra due campanine pur metalliche, l'una in comunicazione col suolo, l'altra elettrizzata colla macchina, si ha lo *scampanio* elettrico (*Fig.* 82). Le palline *a* e *c* sono attratte dalle campanine *d* ed *e* elettrizzate, le toccano, e poi sono respinte sulla campanina *b f* che comunica col suolo a cui cedono la loro elettricità. Sono di nuovo attratte, respinte, e così ec., seguitano a moversi, a ripetere colpi sulle campanine.

La maggior parte degli apparecchi destinati a scoprire la presenza dell'elettricità sono fondati sopra questi principi, e cotali apparecchi diconsi *elettroscopi*, de' quali il più semplice è quello formato dal doppio pendolino (*Fig.* 78) sospeso entro una bottiglia di vetro perchè i movimenti dell'aria non lo agitino, e perchè non si disperda troppo presto l'elettricità comunicatagli. In luogo del doppio pendolino s'adoperano due foglie d'oro attaccate con una loro estremità ad una verga metallica, e contenute in una boccia di cristallo (*Fig.* 101). Volta adoperava due pagliuzze estremamente sottili sospese con due piccioli ganci di filo metallico, e mobili in due fori fatti in una verga metallica (*Fig.* 80). Qualunque di questi strumenti s'adoperi, appena la elettricità è comunicata o alle palline, o alle foglie d'oro, o alle pagliuzze, veggonsi le medesime divergere ed essere spinte contro le pareti della boccia, e rimanere in tal posizione fino a che si conservano elettrizzate. Per lo che a ristabilirle nella posizione loro naturale si applicano sulle pareti opposte della boccia due laminette metalliche, le quali si mettano in comunicazione col suolo o meglio due fili metallici *a b* (*Fig.* 101). Allorchè le palline o le foglie elettrizzate hanno perduta la elettricità toccando le lamine metalliche, tornano alla loro posizione. Si costruisce anche un elettroscopio (*Fig.* 81.) con un solo pendolino *a n*, mobile intorno al punto a cui è sospeso. Nella sua posizione verticale trovasi a contatto di un'asta conduttrice *a m* insieme a cui si elettrizza. Questo accaduto, il pendolino è respinto dall'asta, e fa con essa un angolo più o meno grande secondo l'*intensità* della forza che lo respinge. Del quale angolo si ottiene la misura applicando all'asta fissa un semicircolo graduato, al cui centro trovasi il punto di sospensione del pendolino. Un tale istrumento è detto *Quadrante-elettrometro* di Henly. Si può costruire ancora un elettroscopio moltosensibile con un ago metallico assai sottile terminato alle due estremità da due picciolissime palline, e mobili orizzontalmente sopra un pernio. Questo elettroscopio è ancora più sensibile disponendo l'ago a cavallo di un pezzo fisso, a modo che una delle palline si trovi alla diritta dell'estremità del pezzo fisso e vi sia a contatto, e l'altra pallina a sinistra dell'altra estremità e a contatto con questa. Il pernio dell'ago mobile è portato al mezzo del pezzo fisso. L'ago e il pezzo fisso sono di metallo, ed isolati. La più piccola

quantità d' elettricità comunicata all'istrumento si distribuisce sull'ago che è respinto in senso contrario dalle due estremità fisse.

Tutti questi apparecchi servono a scoprire lo stato elettrico di un corpo: per avere la misura di questo stato elettrico si ricorre alla bilancia di Coulomb, la quale descriveremo nella lezione seguente.

Proseguiamo ad esporre i fenomeni generali della elettricità. La ripulsione tra il piccolo pendolo elettrizzato e il corpo che gli ha comunicata la sua elettricità è un fenomeno costante, qualunque sia il corpo elettrizzato colla confricazione. Ma non così avviene già, se mentre il pendolino è elettrizzato o respinto dal corpo che gli ha comunicata la sua elettricità, gli avvicino un altro corpo elettrizzato; e variando i corpi elettrizzati che accosto al pendulino già elettrizzato, trovo che alcuni di questi respingono il pendolino, alcuni altri lo *attirano*. Eccovi adunque il fatto fondamentale che stabilisce una grande differenza fra i corpi rispetto all'elettricità. Confrico un vetro con un drappo di lana, lo accosto al solito pendolino fatto di una pallina di midolla di sambuco sospesa ad un filo di seta, e perciò isolata: come prima il vetro gli è presso, la pallina è attratta; tocca il vetro, poi fugge respinta. È questo il fatto che già ci è noto. Ora prendiamo un cilindro di ceralacca, confrichiamolo collo stesso drappo di lana e avviciniamolo al pendolino elettrizzato col vetro, e *lo vedremo attratto*; vi si appressi il vetro, e sarà di nuovo respinto. Ma perchè più chiaro vi appaia questo fatto, eccovi due pendolini (*Fig.* 76) ad uno de'quali accosto il vetro confricato, all'altro la ceralacca pure confricata: voi vedete che amendue son respinti subito che hanno toccato il rispettivo corpo avvicinato al medesimi. Se accosto allora i due pendolini, si attirano essi e si toccano l'uno coll'altro. Elettrizzandoli invece amendue o col vetro o colla ceralacca, si respingono e si allontanano l'uno dall'altro. Dufay scopritore di questo fatto, chiamò elettricità *vitrea* quella sviluppata dalla confricazione del vetro, e chiamò *resinosa* quella sviluppata dalle resine. Tentando molti altri corpi, se ne trovano alcuni che agiscono come la resina, altri come il vetro, e si dice generalmente che prendono l elettricità vitrea o resinosa allorchè agiscono come il vetro o come la resina.

Tutti i fenomeni d'attrazioni e di repulsioni che abbiamo osservato sin qui possono esprimersi con questa legge assai semplice: *i corpi che hanno la stessa elettricità si respingono, i corpi che hanno un'elettricità diversa s'attirano.*

Con questo principio generale possiamo riescire facilmente a distinguere se l'elettricità di un corpo è vitrea o resinosa. Basta di accostare il corpo confricato ad un pendolino a cui si è comunicata un'elettricità conosciuta, p. es. quella del vetro; se il pendolino è attratto, devo concludere che il corpo possiede uno stato elettrico resinoso; e se è respinto, concluderò che ha uno stato elettrico vitreo. Vedremo per altro più innanzi come si debbano interpretare con cautela queste esperienze.

Se al solito pendolino avvicineremo successivamente i due corpi l'un contro l'altro confricati, giungeremo a stabilire un altro fatto importante dell'elettricità. I due corpi confricati l'un contro l'altro ed accostati successivamente al pendolino, mostrano sempre di avere un'elettricità contraria. Questo fatto è senza eccezione; ed ogni volta che in un corpo svilupperemo l'elettricità vitrea o la resinosa per qualsivoglia di quelle azioni onde svolgesi l'una o l'altra, sempre troveremo che nel corpo adoperato a svolgerla si è contemporaneamente sviluppata la contraria. Concludiamo dunque che in ogni sviluppo d'elettricità, le due elettricità si separano sempre. Confrico colla lana questo vetro, ed elettrizzo il pendolino, toccandolo col vetro. Se avvicino la lana con cui ho confricato il vetro al pendolino, vedete che questo ne è attratto, e per contrario è respinto dal vetro che lo ha toccato: nella lana dunque si ha una elettricità negativa.

Sottomettendo a questa prova un numero grande di corpi si giunge sempre a questo risultato, e di più si riconosce, che la specie d'elettricità sviluppata in un corpo non ha niente d'assoluto, e che è varia secondo la varia natura dei due corpi che sono confricati. Ed eccovi in conferma la sperienza. Il drappo di lana con cui confrico il vetro prende l'elettricità resinosa; se confrico collo stesso drappo la ceralacca prende invece elettricità vitrea, perchè in questo secondo caso è la ceralacca che prende l'elettricità resinosa. Vedremo più innanzi, parlando delle sorgenti dell' elettricità, che le più piccole differenze bastano a variare la specie di elettricità, che può essere sviluppata da un corpo.

Darò termine alla esposizione di questi principi generali d'elettricità con un altro fatto, ed è quello della scomparsa di ogni fenomeno elettrico tutte le volte che ho messo a contatto due corpi che posseggono una diversa elettricità, per essere stati confricati l'uno contro l'altro. Lascio a contatto i due corpi confricati l'un contro l'altro, e non ho segno d' elettricità; accosto e tocco

insieme due eguali pendolini, uno che ha elettricità resinosa e l'altro vitrea, e trovo che appena toccati non v'è più segno d'elettricità.

Questi sono i più generali fenomeni della elettricità. Resta che ora tentiamo di rappresentarceli con qualche ipotesi che tutti li comprenda.

Fra le molte ipotesi create dai Fisici, due sole ne sono rimaste che godono d'un certo credito. In una si suppone un *fluido solo*, ed è quella immaginata da Franklin e in appresso adottata da Beccaria, Epino, Cavendish, Cavallo, Volta, ed ora è in vigore presso tutte le Scuole Italiane; l'altra è quella dei *due fluidi* proposta da Symmer ed adottata in seguito da Coulomb, Poisson e generalmente in Francia. Nella prima ipotesi si suppone un fluido le cui parti si respingono, mentre sono attratte dalla materia ponderabile. Ogni corpo contiene una certa quantità di questo fluido, la quale è dipendente dalla sua massa e dalla sua natura, e determina lo stato d'equilibrio elettrico fra questo corpo e quelli che lo circondano. Questa *quantità naturale* di fluido che il corpo possiede, io costituisce allo stato naturale. Le diverse cause che sviluppano elettricità agiscono aumentando la quantità di fluido elettrico in un corpo e diminuendola nell'altro. I quali due stati di eccesso e di difetto di fluido elettrico nei corpi costituiscono, nella dottrina di Franklin, le due elettricità sviluppate colla confricazione del vetro e delle resine. Dicesi pertanto elettrizzato *positivamente, in più, in eccesso* un corpo che ha uno stato elettrico eguale a quello del vetro confricato colla lana; diresi elettrizzato *negativamente, per difetto* o in *meno* un corpo elettrizzato come lo è la resina confricata colla lana.

Nell'ipotesi di Symmer i fenomeni elettrici s'attribuiscono invece a due fluidi che respingono le loro proprie molecole e che si attirano reciprocamente. Si ammette che tutti i corpi della natura posseggano i due fluidi o le due elettricità in quantità eguali e allo stato di combinazione. Tale combinazione delle due elettricità di questa proporzione costituisce lo stato naturale; nel quale l'un fluido simula l'altro e ne occulta la presenza. La causa che sviluppa i fenomeni elettrici distribuisce disegualmente i due fluidi fra i due corpi che si elettrizzano, ed uno di questi prende un eccesso di un fluido, e l'altro un eccesso dell'altro. Il fluido che si trova eccedente nel vetro strofinato colla lana dicesi fluido *vitreo*; quello della ceralacca fluido *resinoso*. Onde spiegare il fatto, che finchè i due corpi confricati si toccano non si ha alcun segno di elettricità, mentre che separati si mostrano immediatamente i fenomeni elettrici, si ammette che sieno eguali le quantità dei due fluidi elettrici sviluppati dalla confricazione, e che combinate insieme compongono il fluido neutro.

Nello stato attuale della scienza è impossibile di decidersi con fondamento per l'una o per l'altra delle due ipotesi. E molto più difficile è a noi questo confronto, perchè ora conosciamo appena i fenomeni più generali dell'elettricismo. Se fosse possibile di starne ai soli fatti, di esporli con quell'ordine che è pur necessario ad intenderli, a legarli insieme, mi guarderei bene dall'adottar l'una o l'altra delle due ipotesi. Ma poichè questo è impossibile, comincerò dall'adottare esclusivamente l'ipotesi dei due fluidi, *nella sola vista* di coordinare *più facilmente* il maggior numero dei fenomeni elettrici conosciuti. Più innanzi vedremo che nella generalità ambedue queste ipotesi soddisfano al maggior numero dei fatti, e più tardi ancora saremo nel caso di apprezzare quelli dei fatti elettrici che tendono ad escludere una ed a favorire l'altra. Parlandovi nella ipotesi dei due fluidi, non posso però astenermi dal sopprimere le denominazioni di fluido elettrico *vitreo* e *resinoso*, le quali tendono a dare idee troppo false. E di vero i due stati elettrici diversi non appartengono esclusivamente al vetro o alla resina, ed abbiamo visto che può lo stesso corpo prender l'una e l'altra delle due elettricità facendo variare il corpo con cui si confrica. Meglio acconce verranno le denominazioni generali di elettricità positiva e negativa, che indicano bene due proprietà contrarie: e vi è di fatto opposizione di segno nelle forze manifestate dalle due elettricità. Chiameremo perciò d'ora innanzi elettricità *positiva* quella che si sviluppa sul vetro liscio confricandolo con un drappo di lana, ed elettricità *negativa* quella che si sviluppa sulla resina confricata collo stesso drappo di lana. Queste due elettricità s'attirano, mentre le parti di ciascuna si respingono, e combinate insieme formano lo stato *elettrico naturale* dei corpi.

LEZIONE XXXIII e XXXIV.

Leggi delle attrazioni e repulsioni elettriche. — Teoria della distribuzione dell'elettricità nei corpi. — Principio delle punte e della rota o stelletta elettrica.

Dopo avere esposti i fenomeni generali delle attrazioni e repulsioni elettriche, la prima cosa che dobbiamo fare è di determinare le leggi con cui si esercitano alle diverse distanze. L'apparecchio adoperato da Coulomb in queste ricerche è la bilancia di torsione ricordata nella lezione antecedente. Cotesta bilancia si compone essenzialmente di un filo metallico sottilissimo di cui l'estremità superiore è unita ad un punto fisso, l'inferiore porta un ago orizzontale. Per determinare l' intensità di una forza qualunque, si fa questa agire sulla estremità dell'ago, e si misura dall' angolo ch'ei forma allontanandosi dalla sua posizione d'equilibrio. In una parola si oppone alla forza che si vuol misurare la forza di torsione del filo la quale è proporzionata all'angolo di torsione. Volendo applicare il principio della bilancia di torsione alla misura delle attrazioni e repulsioni elettriche, si modifica la costruzione della bilancia nel modo seguente (*Fig.* 83). L'ago orizzontale *c d* è di gomma lacca, sostanza molto isolante: porta esso ad una delle sue estremità una piccola palla di midolla di sambuco, o un dischetto di lamina metallica sottile. Il filo sottilissimo di ottone che occupa l'asse dell'apparecchio, e a cui è sospeso l'ago di gomma-lacca, è fisso colla sua estremità superiore *f* nell'asse di un tamburo metallico gradoato nel suo margine, e girevole orizzontalmente entro un altro tamburo fisso. Questa parte dell'apparecchio chiamasi *micrometro* (*Fig.* 84). Tutto questo è contenuto entro una grande campana di vetro A B C D sormontata da un tubo pur di vetro F E, alla cui estremità superiore è fisso il micrometro *a b* è l'ago del micrometro che indica sul suo circolo graduato quanta è la torsione che si dà al filo girando quest'ago. La parete laterale della campana ha un foro O entro cui s'introduce una palla di metallo *d'*, o una pallina di midolla di sambuco fissata ad un manico isolante, portandola a contatto del dischetto o della pallina dell'ago orizzontale. La parete laterale della campana porta delle divisioni angolari sopra una sezione orizzontale, di cui il piano contiene il centro della pallina, quello del disco e l'asse dell'ago di gomma-lacca. Si ha cura, prima di tentar l'esperienze, di render l'aria nell'interno della campana più spogliata di umidità che sia possibile, ciò che si fa introducendovi la calce viva o meglio il cloruro di calcio, sostanze tutte molto avide del vapor d'acqua.

È chiaro che toccando colla pallina un conduttore elettrizzato, poi introducendola nella bilancia a modo che tocchi ed elettrizzi per conseguenza l'altra pallina o il dischetto dell'ago orizzontale della bilancia, vi sarà all'istante ripulsione fra i due corpi egualmente elettrizzati: dopo qualche oscillazione l'ago si fermerà in un punto distante dalla prima posizione, fra la quale e il detto punto sarà compreso un arco, che lo potrò determinare per mezzo della scala graduata laterale. In questo punto la torsione del filo fa equilibrio alla forza repulsiva dell'elettricità dei due corpi, e serve perciò a misurarla. Se ci rappresentiamo con *f* la forza di torsione di un grado, sarà *a f* quella corrispondente all'angolo *a*, che fa equilibrio alla forza repulsiva alla distanza *d* fra i due corpi. Per determinare la relazione fra queste forze repulsive e le distanze alle quali si esercitano, basta variare la posizione d'equilibrio dell'ago orizzontale, e quindi nella pallina elettrizzata, che è unita alla estremità del medesimo. A questo fine si fa girare il tamburo superiore del micrometro di un certo numero *b* di gradi a modo di ravvicinare il dischetto o la pallina dell'ago all'altra pallina. Una volta ristabilito l'equilibrio, si nota l'angolo *a'* di deviazione dell'ago. In questo la repulsione essendo accresciuta, si è pure accresciuta la torsione che le fa equilibrio. Girando il tamburo non si fa che torcer il filo in senso contrario della repulsione, per cui questa forza fa equilibrio all'angolo *a* di deviazione e più al numero *b* dei gradi fatti fare al tamburo, che sono quelli stessi che misurano di quanto il filo è stato torto per avvicinarlo alla palla. S'intende facilmente che girando di più il tamburo, i due corpi si ravvicinano, la forza repulsiva s'accresce facendo in tutti i casi equilibrio alla forza totale di torsione, misurata dall'angolo di deviazione e più dal numero dei gradi fatti fare al tamburo in senso contrario alla forza di repulsione. Ecco alcuni risultamenti ottenuti da Coulomb.

Confrontando in questa tavola le forze ripulsive a le distanze, si vede che *le prime variano prossimamente in ragione inversa dei quadrati delle seconde*. Per verità la distanza rettilinea dei due corpi è misurata dalla corda che congiunge i loro centri, e non dall'arco sotteso; oltredichè, la forza repulsiva che esercitano l'uno sull'altro agisce obliquamente sull'ago, e per conseguenza non opera tutta intiera a farlo deviare. Ma poichè questa obliquità è assai piccola per l'esperienze che abbiamo citate, e poichè per conseguenza viene ad essere anche assai piccola la differenza fra gli archi e le loro corde, possiamo considerar come esatta la legge che abbiam dedotta. V'è anche un'altra causa d'errore in queste esperienze, ed è quella dell'elettricità che può disperdersi nell'intervallo delle medesime. Per altro vedremo più innanzi come le ricerche di Coulomb conducano a correggerne i risultamenti.

Lo stesso metodo d'osservazione può esser adoperato per avere la legge delle attrazioni elettriche. Al qual fine conviene torcere il filo per mezzo del tamburo superiore all'opposto di quello che si è fatto nel caso della ripulsione: la torsione data girando il micrometro, deve impedire alle due palle di riunirsi. Si comincia dal comunicare una certa elettricità alla pallina dell'ago, poi si gira il tamburo tanto che lo zero di torsione sia portato ad una certa distanza dalla sua posizione d'equilibrio. Allora s'introduce l'altra pallina elettrizzata con elettricità contraria. I due corpi si attirano, e l'equilibrio si stabilisce ad una certa distanza fra loro, che si legge sul quadrante. Facendo girare il tamburo ora in un senso, ora in un altro, si hanno in tutti i casi nuove posizioni d'equilibrio per l'ago. Paragonando in tal modo le torsioni totali e le distanze, si trova che le forze d'attrazione prodotte dalle elettricità di natura diversa, seguono le stesse leggi delle forze repulsive, cioè sono reciprocamente proporzionali ai quadrati delle distanze.

Coulomb ha determinata questa legge delle attrazioni elettriche con un altro processo: il quale consiste nel sospendere orizzontalmente ad un filo di seta senza torsione, come si trae dal bozzolo, un ago di gomma-lacca che ha ad una sua estremità un piccolo dischetto di carta dorata. Quest'ago è posto ad una certa distanza da un globo metallico carico di un'elettricità contraria di quella comunicata al dischetto. L'attrazione ha luogo, e l'ago si mette ad oscillare. Si determina la forza attrattiva alle diverse distanze prendendo il numero delle oscillazioni che fa l'ago in un dato tempo, nel modo stesso con cui abbiamo visto determinarsi l'intensità dell'attrazione terrestre colle oscillazioni di un pendolo ordinario. Le esperienze di Coulomb dimostrano l'esattezza della legge riferita, anche nel caso in cui il corpo elettrizzato agisce sopra un corpo che si trova allo stato naturale. Vedremo più tardi che questo caso deve comprendersi nel caso generale dell'azione di due corpi elettrizzati in senso contrario.

Chiamando f l'intensità totale della forza con cui s'attirano o si respingono due corpi sferici elettrizzati, posto che la loro distanza rettilinea sia eguale all'unità, portata alla distanza d, la espressione della forza con cui seguitano a respingersi o ad attrarsi dovrà essere, secondo la legge di Coulomb che abbiamo stabilita, eguale ad $\frac{f}{d^2}$.

I resultati di Coulomb sono stati di recente confermati da Egen con un apparecchio assai diverso. Adopera questo Fisico una bilancia di cui l'asta orizzontale è per metà isolata, e porta in questa una palla di sughero destinata ad essere elettrizzata: all'altra metà, che è di ottone, sono attaccati piccoli pesi. Si fa agire sulla palla di sughero della bilancia un'altra palla eguale elettrizzata, e tanto nel caso delle ripulsioni quanto in quello delle attrazioni si determinano le intensità di queste azioni a diverse distanze per mezzo dei pesi necessari a tenere orizzontale l'asta della bilancia.

La legge delle ripulsioni elettriche si verifica colla elettricità negativa egualmente che colla positiva.

Ma per compiere la ricerca dell'azione totale attrattiva o repulsiva di due corpi elettrizzati, dobbiamo determinare qual'è quest'azione reciproca della elettricità di ognuno dei due corpi elettrizzati. Il termine f si compone dell'azione dei due corpi elettrizzati: la quantità d'elettricità può esser diversa nei due corpi, e convien determinare in qual modo l'elettricità propria di ognuno dei corpi elettrizzati interviene nel termine f. Della qual legge ancora dobbiamo saper grado a Coulomb, che l'ha scoperta colla sua bilancia. Si giunge adunque a stabilirla, qualora si abbia modo di togliere ad una delle palline una quantità tale d'elettricità che stia in un rapporto noto con quella che aveva. Ed è ben facile concepire come possa togliersi alla pallina elettrizzata precisamente la metà dell'elettricità che essa contiene, e che perciò basterà toccarla per un solo istante con un'altra pallina della stessa natura, dello stesso diametro, ed egualmente isolata. Tutto essendo simmetrico nelle due palline, l'elettricità deve distri-

buirvisi egualmente; per cui separate, deve rimanere ad ognuna la metà d'elettricità contenuta nella pallina prima di toccarla coll'altra. Toccata dunque di nuovo la pallina che non ha più che 1/2 di elettricità con un'altra pallina eguale allo stato naturale, l'elettricità sopra ognuna di queste si ridurrà ad un quarto della prima volta, e così di seguito. Ciò ammesso, si comincia dall'elettrizzare nello stesso modo la pallina dell'ago della bilancia, e l'altra pallina mobile; poi dando al filo un certo grado di torsione addizionale, si portano le due palline ad una data distanza *d*. Allora toccando la pallina mobile con un'altra simile, si riduce la sua elettricità a metà, e si rimette nella bilancia; si troverà in tal guisa che per ritenere l'ago alla stessa distanza *d* di prima, bisogna diminuire di metà la torsione totale. Toccata di nuovo, e ridotta la sua elettricità ad un quarto, converrà ridurre la torsione totale alla metà, o al quarto di ciò che era in origine, perchè le due palline si conservino sempre alla stessa distanza. Da cui si deduce che le *azioni elettriche di ripulsione o di attrazione sono proporzionali ai prodotti della quantità d'elettricità che agiscono l'una sull'altra*. Così nei tre casi citati le forze ripulsive che agiscono ad una distanza costante sono fra loro come 1, 1/2, 1/4, e variano per conseguenza nello stesso rapporto con cui variano i prodotti delle quantità d'elettricità libera contenute nelle due palline. Risulta da questa legge, che conservando costante la quantità d'elettricità della pallina dell'ago, se si danno alla pallina mobile delle quantità diverse d'elettricità, i diversi gradi di torsione necessari per mantenere la stessa distanza fra loro, devono essere proporzionali alle quantità di elettricità successivamente aggiunte alla pallina mobile, e servono a misurarle. Il termine *f* è dunque il prodotto di due altri termini r ed r' proporzionali alla quantità d'elettricità posseduta da ognuno dei due corpi elettrizzati. Quindi la forza totale con cui s'attirano o si respingono ad una distanza qualunque *d*, sarà espressa generalmente da $\frac{r r'}{d^2}$.

Chiameremo d'ora innanzi *reazione elettrica* dei due corpi elettrizzati questo termine *f* espresso dal prodotto r r'.

Recentissimamente Harris ha intrapreso una serie di esperienze sopra questo soggetto, in seguito delle quali sarebbe giunto a mostrare che le leggi di Coulomb, in addietro esposte, non hanno tutta la generalità che sin qui si era dedotta dai risultamenti ottenuti da quell'illustre Fisico. Il sig. Harris ha costrutto una nuova specie di bilancia chiamata *bilancia bifile*, a cagione dei due fili di cui fa uso. La forza di reazione in quest'istrumento non dipende che dalla gravità, e non più da alcun principio d'elasticità, che si sa non esser mai perfetta in un filo di metallo. Descriverò in breve il principio su cui si fonda la bilancia bifile. È questa formata (*Fig.* 85) di un ago *m n* sospeso a due fili di seta non torti *a b*, *a' b'* posti parallelamente l'uno all'altro a eguale distanza dal centro *c* dell'ago e dal punto *c'* corrispondente al centro *c*. Sono i due fili fissi ai punti *a* ed *a'* distanti egualmente dal punto *c'*. L'ago è nella sua posizion d'equilibrio allorchè è disteso orizzontalmente in un piano verticale che passa per due fili. Per questa disposizione girando l'ago intorno all'asse immaginario *c c'*, le linee di sospensione deviano dalla verticale e la distanza *c c'* diviene minore. Il centro di gravità del sistema s'innalza, tende perciò a ritornare alla sua prima posizione trovandosi in una posizione simile a quella di un corpo che cade per un arco circolare. Le formole relative ai moti d'oscillazione determinano in questo caso l'intensità della forza che produce le oscillazioni. È facile immaginare le disposizioni secondarie che posson darsi a quest'apparecchio onde servirsene nelle ricerche elettriche.

Le infrazioni alla legge di Coulomb si trovano, secondo le esperienze di Harris, in quei casi in cui sono molto deboli le forze elettriche, grandissima la ineguaglianza della respettiva quantità d'elettricità, e piccole le distanze. Ne'quali casi l'accrescimento d'azione delle forze ripulsive al diminuire della distanza, si troverebbe secondo Harris assai minore di quello che sarebbe secondo la legge di Coulomb. Vedremo più innanzi che conviene in questi casi tener conto di altre circostanze.

Ora ci conviene studiare come l'elettricità si disponga in equilibrio nei corpi. Cominceremo dai corpi conduttori, e isolati per conseguenza. Vi ho mostrato di che guisa Coulomb era giunto a stabilire la legge delle azioni elettriche. Abbiamo visto che toccando una pallina elettrizzata con un'altra simile, la quantità di elettricità contenutavi si riduceva a metà. Egli ha riconosciuto eziandio con un gran numero di esperienze, che si otteneva lo stesso risultato con una pallina simile di volume, qualunque fosse stata la sua natura. Il risultato era pure il medesimo con una pallina vuota internamente, come lo era con un dischetto la cui superficie fosse eguale a quella della pallina. Da'quali fatti è evidente doversi concbiudere che: *l'elettricità si distribuisce egualmente nei diversi corpi conduttori*,

qualunque sia la loro massa e natura, purchè sia eguale la loro superficie. Un tal risultato non può concepirsi senza ammettere che l'elettricità si porti tutta intera alla superficie dei corpi conduttori abbandonandone le parti interne. Ma questa proprietà è tanto importante, che mi è duopo mostrarvela coll'esperienza. Eccovi una sfera di ottone vuota isolata, sulla cui superficie è fatto un foro *f* (*Fig.* 87). Elettrizzo la sfera colla macchina elettrica, e la tocco esternamente colla solita pallina isolata. Portoquesta presso di un pendolino, e m'assicuro così che la sfera è elettrizzata. Introduco allora la stessa pallina o dischetto isolato nell'interno, ne tocco in più punti la superficie interna, e tornando di nuovo al pendolino, m'accorgo che non ho portato via punto d'elettricità. Ma un altro esperimento vi renderà anche più manifesto un tal fatto. Vedete questa sfera di metallo isolata (*Fig.* 88): due calotte sottilissime di carta dorata e munite di manichi isolanti la inviluppano esattamente. Elettrizzo la palla, poi la ricuopro delle due calotte tenendole coi loro manichi isolanti, le ritiro di nuovo, e presentate al pendolino osservo che si sono elettrizzate, mentre la palla metallica ha interamente perduta la sua elettricità. Possiamo dunque concludere che l'elettricità, qualunque sia la sua natura, comunicata ad un corpo conduttore isolato, si dispone sempre alla sua superficie. Si ammetta poi che quivi sia ritenuta dalla resistenza dell'aria; contro della quale l'elettricità fa uno sforzo continuo per espandersi, ed è questo sforzo che chiamiamo *tensione dell'elettricità libera*. E di vero, abbiate un pendolino entro una campana; al quale possiate comunicare dell'elettricità; rendete rarefatta l'aria dalla campana: e per quanta elettricità comunichiate al pendolino, non vedrete mai divergenza fra le due palline. Se operaste all'oscuro, come faremo più innanzi, vedreste l'elettricità diffondersi nell'aria rarefatta, dissiparsi per tutto lo spazio della campana ed empirlo di luce. Il pendolino non può muoversi perchè non rimane mai carico d'elettricità a sufficienza. Il detto sforzo della elettricità contro dell'aria dicesi *tensione*.

Nè l'analisi matematica nè l'esperienza ci hanno insegnato sin qui a determinare la grossezza dello strato elettrico: certo è per altro che la superficie esterna di questo strato, a contatto dell'aria e limitato dalla sua pressione, dev'essere la stessa del corpo conduttore. E la superficie interna del medesimo strato elettrico, necessariamente poco diversa dall'esterna per la grossezza estremamente piccola dello strato, deve esser determinata da leggi che devono dedursi dalle osservazioni. Che questo strato elettrico poi sia in tutti i casi estremamente sottile, ce lo prova il distribuirsi egualmente dell'elettricità sopra una superficie metallica piana, come sopra una sfera fatta da una foglia d'oro, la più sottile che si possa immaginare. Possiamo perciò rappresentarci il fluido elettrico sparso sui corpi conduttori, come ci rappresentiamo un fluido ponderabile contenuto in un vaso, contro le cui pareti egli preme: quando queste pareti sono abbastanza resistenti, il fluido vi rimane; se no, si rompono, ed il fluido esce. Nel caso dell'elettricità, la parete sarebbe l'aria che inviluppa il corpo conduttore, o la vernice coibente che lo ricopre.

L'analisi applicata all'ipotesi fondamentale dei due fluidi sparsi in quantità eguali nei corpi allo stato naturale, di cui le rispettive parti si attirano in ragione inversa dei quadrati delle distanze, ha condotto a quegli stessi resultati che abbiamo determinato colla esperienza. Nel caso della sfera conduttrice elettrizzata, si può provare con un molto semplice ragionamento, che la elettricità deve tutta fuggire sulla superficie, ed ivi accogliersi. Allorchè tutti i punti di uno strato sferico agiscono per attrazione o per repulsione sopra un punto interno secondo la legge della ragione inversa del quadrato della distanza, si ha dal calcolo, che la risultante di tutte queste azioni è nulla sopra un punto interno qualunque. Perciò se s'immagini una quantità di fluido elettrico libero sparsa per gli strati sferici omogenei di una sfera, tutte le molecole di uno stesso strato saranno respinte dagli strati sferici interni, senza che gli esterni possano contrariare una tal repulsione; dovranno dunque tutti gli strati dell'elettricità libera dilatarsi successivamente e venire a sopraporsi verso la superficie del corpo, dove rimangono per la resistenza dell'aria. Deve perciò lo strato elettrico terminarsi esternamente colla superficie stessa del corpo, e internamente da un'altra superficie, che sarà sferica se lo sarà egualmente quella del corpo. In ogni caso la distanza fra queste due superficie forma ciò che chiamiamo *grossezza* o *densità* dello strato elettrico. È indifferente, per le ricerche sperimentali, di adottare l'una o l'altra di queste due parole, e quindi l'uno o l'altro dei due modi con cui si suppone disporsi l'elettricità sui corpi. Accumulando una maggior quantità d'elettricità sopra un conduttore già elettrizzato, può credersi che conservandovisi alla stessa densità, lo strato elettrico si faccia più grosso, ovvero che conservando la stessa grossezza, divenga più

denso. Adopreremo adunque indifferentemente le due parole *densità* e *grossezza* dello strato. E quando anche si volesse ammettere che questa grossezza dello strato elettrico fosse una quantità fisica sensibile, non sarebbe meno vero, e l'esperienza ce lo ha ben provato, che sarebbe sempre una quantità immensamente piccola; e noi dobbiamo perciò riguardare l'azione di un corpo esteriore come se tutta la sua elettricità fosse unita in un punto. È bene che non annettiamo una grande importanza a queste denominazioni: altrimenti saremmo portati a dare troppo peso alle ipotesi con cui cerchiamo di rappresentarci i fenomeni elettrici: le quali ipotesi abbiamo adottate unicamente per esporli con un certo ordine. Tutte le parti che compongono lo strato elettrico si respingono fra loro, ed ognuna di queste deve considerarsi soggetta all'azione di tutte le altre sparse pel corpo: alla risultante di coteste azioni dell'elettricità sull'aria diamo il nome di *tensione elettrica* in quel punto.

Noi troviamo una tale tensione osservando la divergenza più o meno grande dei pendolini delle pagliuzze di un elettroscopio, e diciamo che essa vince la resistenza dell' aria, allorchè l' elettricità esce da un conduttore e la scintilla ne scocca.

Siccome possiamo considerare dotate della stessa forza ripulsiva ciascuna delle molecole sparse lungo la normale che misura la grossezza dello strato elettrico, ne viene che la resistenza totale opposta dall' aria a questa tensione, è proporzionale al prodotto della grossezza dello strato elettrico per la forza ripulsiva che appartiene ad ognuna delle sue parti. La qual forza, per l'analisi di La Place, è dimostrata in tutti i punti proporzionale alla grossezza dello strato elettrico: ond'è che la tensione dell'elettricità deve esser proporzionale al quadrato della detta grossezza.

Oltre questi risultati generali, il calcolo applicato dal celebre Poisson ai fenomeni dell' elettricità statica, ha trovata la legge della distribuzione della elettricità in un gran numero di casi. Così, nel caso di un ellissoide di rivoluzione, si giunge a queste legge assai semplice: che le grossezze dello strato elettrico alle estremità dei due assi dell'ellissoide sono nel rapporto di questi assi. Poisson ha pure considerato il caso di due sfere conduttrici, eguali od ineguali, messe a contatto. I quali risultati dell'analisi non sono che una conferma di ciò che Coulomb aveva dedotto dalla esperienza.

Facciamoci ora a descrivere il modo con cui Coulomb ha potuto determinare la diversa grossezza dello strato elettrico sui diversi punti della superficie di un corpo. Ecco il principio su cui è fondato: si prenda un dischetto di carta dorata o di lamina sottile d' ottone, e si fissi all' estremità di un filo sottile di vetro, di gomma lacca o di una sostanza coibente qualunque. L'apparecchio in ciò adoperato è semplicissimo, e va sotto il nome di *piano di prova* di Coulomb. Applicando cotesto dischetto sopra la superficie di un corpo elettrizzato, deve ammettersi che confondendosi coll' elemento corrispondente della superficie del corpo, si carichi dell' elettricità che appartiene a quell' elemento. Per quanto però sia sottile il nostro piano di prova, è di certo infinitamente più grosso in tutti i casi dello strato elettrico. Tolto dal contatto, il piccol dischetto porterà seco l' elettricità dell' elemento toccato, che distribuendosi sulle due facce del disco, avrà in ognuna una grossezza che sarà metà di quella che era sull'elemento, e quindi sul disco stesso quando era a contatto del corpo elettrizzato. L'esperienza prova in fatto la realtà di questo ragionamento, e si dimostra facilmente che le quantità d' elettricità che son tolte dal dischetto al corpo toccato nei suoi diversi punti, sono negli stessi rapporti in cui si trovano le grossezze dello strato elettrico in questi diversi punti. Si cominci dal comunicare ad una sfera di metallo una certa quantità di elettricità, e si tocchi col piano di prova; poi si porti questo nella bilancia di torsione. Il disco dell' ago, cui si era prima comunicata la stessa elettricità, è rispinto; l' ago prende una nuova posizione d'equilibrio, e si determina la forza di torsione corrispondente. Fatto ciò, si tocca il corpo elettrizzato con un altro corpo simile allo stato naturale; si ripete col piano di prova il contatto; e rimessolo nella bilancia, si trova che la torsione e quindi la reazione elettrica è la metà di prima. Il contatto dei due corpi eguali avendo ridotta a metà la grossezza dello strato, anche il piano di prova ha portato via metà d' elettricità.

Il piano di prova può dunque considerarsi realmente come un elemento del corpo elettrizzato che si distacca dal medesimo; ed i rapporti delle tensioni ch' egli indicherà toccando la superficie di un corpo nei suoi diversi punti, daranno i rapporti delle grossezze dello strato elettrico in questi stessi punti. Ecco alcuni dei più importanti risultati delle sperienze di Coulomb. Sui corpi sferici la grossezza dello strato e quindi la tensione elettrica, è la stessa in tutti i punti; per cui supponendo che sopra una sfera elettrizzata si accumuli una quantità doppia, tripla, quadrupla ec. d'elettricità,

ogni elemento della sua superficie acquista una quantità doppia, tripla, quadrupla ec. d' elettricità. Nelle lastre prismatiche o nei cilindri, la tensione è sensibilmente la stessa dal mezzo sino ad un pollice di distanza da questo punto, oltre il quale la tensione cresce rapidamente sino alle estremità. Nelle lastre circolari le variazioni di tensione non si manifestano che a 3 o 4 pollici dagli orli, e a partire da cotal limite cresce la tensione rapidamente avvicinandosi a questi orli. In una elissoide la tensione alle estremità dell' asse lungo è più grande che in tutti gli altri punti, e la differenza di tensione tra le estremità dell' asse lungo e del corto, aumenta nel rapporto della loro lunghezza. Questo risultato, che abbiamo visto potersi dedurre dal calcolo, ci dà la teoria dell' azione delle *punte*. È chiaro dopo ciò che abbiamo detto, che se immaginiamo un' elissoide di cui l' asse maggiore sia infinitamente lungo rispetto al minore, ciò che trasforma appunto l'estremità dell'elissoide in una punta, la grossezza dello strato e quindi la tensione diverrebbero infinite sopra questa estremità, e quivi perciò sarà vinta la resistenza dell' aria, e l' elettricità n'escirà come un liquido da un foro fatto in un vaso. È in virtù di questo potere delle punte, che allorquando un conduttore qualunque è munito di una punta metallica aguzza, la sua elettricità si disperde. Voi vedete infatti che io non giungo più ad ottenere nell'elettrometro che tocca un conduttore armato di punta ed elettrizzato dalla macchina elettrica, la stessa divergenza che ne ottengo allorchè è tolta la punta. Quando noi studieremo i fenomeni luminosi della elettricità, vedremo che l'estremità di una punta in comunicazione col conduttore elettrizzato dalla macchina, termina sempre o con una stelletta o con un fiocco di luce, che sono dovuti ad elettricità che si dissipa.

Della teoria delle punte si è fatta un' ingegnosa applicazione, la quale studieremo un po' distesamente: giacchè può essa servire di conferma ai principi generali che abbiamo esposti sulla distribuzione dell'elettricità alla superficie dei corpi. In ogni corpo di cui le forme son tali, che l'elettricità vi si distribuisce naturalmente in un modo simmetrico, e vi produce pressioni eguali sopra punti opposti, non può mai l' elettricità produrre movimento, salvo se non vi opera sopra qualche forza elettrica esteriore. Ma non è già più così là dove l' elettricità possa fuggire rompendo lo strato resistente dell'aria in un qualche punto della superficie d' un corpo. Eccovi un filo piuttosto grosso di metallo (*Fig.* 89), di cui le due estremità sono curvate in senso opposto perpendicolarmente alla sua lunghezza, e terminate in punta aguzza. Al centro del filo vi è un piccolo incavo in cui s' innesta un pernio di metallo unito con vite al conduttore della macchina elettrica, sopra del qual pernio il filo può così rotare orizzontalmente. Si unisce a vite questo pernio di metallo al conduttore della macchina elettrica. Finchè il conduttore non è elettrizzato, l'ago sta fermo; ma appena la macchina comincia ad agire, io vedete rotare con grande rapidità in senso contrario a quello in cui esce l' elettricità dalle punte. Facendo quest'esperienza nell'oscurità vedreste le punte del filo od ago, detto *stelletta*, divenir luminose. Il modo con cui ci siam rappresentata la disposizione dell'elettricità in equilibrio sulla superficie dei corpi elettrizzati, potrebbe metterci nella via di spiegare questo fenomeno. Ed infatti un tal movimento sarebbe analogo a quello che avrebbe luogo, se in vece d'essere un ago elettrizzato fosse un tubo egualmente piegato, ed entro cui si versasse un liquido che andasse poi a scolare pei due fori aperti alle estremità, come sgorga l' elettricità dalle due punte dopo aver vinta la pressione dell' aria. Sarebbe, in una parola, il principio di reazione de' fluidi ponderabili. Nel caso dello scolo del liquido, il prodotto della massa per la velocità di tutte le molecole liquide che scolano, dev' essere costantemente eguale alla somma dei prodotti della stessa massa per le velocità dei diversi punti del tubo e del liquido contenuto, che ruota insieme in senso opposto dello scolo. Questa stessa eguaglianza dovrebbe perciò sussistere nel movimento dell'ago o *stelletta* elettrizzata, e dovrebbe quindi supporsi una velocità infinitamente grande nell'elettricità, non essendosi giunti sin qui a provare, anche colle bilance le più sensibili, che un corpo per quanto si voglia elettrizzato, acquisti un aumento sensibile di peso. Un'esperienza del sig. Aimè ha però provato che la teoria della stelletta, fondata sul principio di reazione dei fluidi, non è esatta. Se si fa agire la stelletta entro il vuoto della macchina pneumatica l' esperienza manca, e per quanto si elettrizzi non si mette mai in movimento. Questo fatto sta bene anche nella teoria che abbiamo esposto. Tolta l'aria, l'elettricità fugge da tutti i punti della superficie della stelletta, e non è più dalla sola punta che lo sgorgo si fa. Aimè prepara la stelletta coprendola interamente di una vernice coibente, eccettuate l' estremità delle punte, e la sostiene orizzontalmente entro la campana per mezzo di un filo metallico estremamente fino e verniciato anch'esso. Estratta l'aria e messo il filo in comunicazione colla macchina elettrica in attività, non si osserva alcun movimento nella

stelletta quantunque l'elettricità esca dalle punte, ciò che vedesi facilmente operando nell'oscurità. Appena ho fatta rientrar l'aria nella campana, vedete subito la stelletta muoversi come al solito. Eppure lo strato di vernice deve far l'ufficio, nella nostra ipotesi, dell'aria, e dovrebbe esservi il movimento. Se il principio meccanico della conservazione del movimento del centro di gravità è esattamente applicato in questo caso, convien ammettere che la velocità infinitamente grande dell'elettrico non basta a compensarne il difetto di massa, e che quindi è questa massa dell'elettrico inapprezzabile anche agli strumenti fisici i più delicati.

Potrebbe fors'anche esser causa del fenomeno della stelletta la ripulsione delle molecole dell'aria che per la loro coibenza rimangono cariche d'elettricità. Aimè infatti avrebbe visto che in un liquido conduttore la stelletta verniciata non si muove, mentre si muove bene in un liquido cattivo conduttore dell'elettricità.

Vedremo più innanzi, che la teoria adottata per spiegare come l'elettricità è ritenuta alla superficie dei corpi non è d'accordo con altri fatti.

A compiere la teoria della distribuzione dell'elettricità sopra i corpi devo parlarvi ancora di questa distribuzione nel caso di due sfere messe a contatto. Coulomb ha cercato altresì, col solito mezzo del piano di prova, qual sia la grossezza dello strato elettrico nei diversi punti delle due sfere; ed i risultati delle sue osservazioni sono i seguenti: 1.° che al punto di contatto è nulla la grossezza dello strato elettrico; 2.° che nel caso di due sfere eguali, lo strato elettrico sopra ognuno dei grandi circoli che passano pel punto di contatto non acquista un valor sensibile che a 20° gradi da questo punto, cresce rapidamente da 20° a 60°, più lentamente da 60° a 90°, e conserva sensibilmente lo stesso valore da 90° a 180°; 3.° che nel caso di due sfere ineguali, la grossezza dello strato elettrico sulla piccola sfera a 180° dal punto di contatto è più grande di quella che è al punto corrispondente e opposto della sfera maggiore; e che il rapporto di cotali grossezze dello strato elettrico in questi due punti corrispondenti aumenta a misura che diminuisce il raggio della piccola sfera, per la quale si avvicina verso un numero o valor limite eguale a 4,2. Nè sono già molto diversi i risultamenti cui si giugne per la via del calcolo. Supposto 1 il diametro del globo maggiore ed 1 la densità, o grossezza media del suo strato elettrico nel punto opposto a quello del contatto, la densità o grossezza media dello strato elettrico sulla piccola sfera e nel punto corrispondente si trova 4 coll'osservazione e 4,207 col calcolo, supponendo il suo diametro infinitamente più piccolo di quello dell'altra sfera. Ma un tale risultamento può esporsi eziandio in altri termini. Allontanati i detti due globi l'uno dall'altro, l'elettricità che avevano al contatto si distribuisce uniformemente sopra ognuno di loro. Determinate le grossezze o densità medie degli strati elettrici che hanno così separati, si trova che se si rappresenta con 1 questa densità o grossezza dello strato elettrico sul globo di maggior diametro, è 2 per l'altro il di cui diametro è infinitamente più piccolo: il calcolo dà 1,645.

Esposta la teoria della distribuzione della elettricità sui corpi conduttori isolati di diversa figura, ci è facile intendere come, comunicata una certa quantità di elettricità a due o più conduttori diversi fra loro, e messi a contatto, debba essa distribuirsi disugualmente, e prender perciò i diversi conduttori una quantità anche diversa di elettricità. Questa diversa attitudine a contenere una quantità più o meno grande di elettricità costituisce la *capacità* dei conduttori per l'elettricità. Chiaro è adunque, dopo ciò che abbiamo detto, che se ad una serie di conduttori vien comunicata una stessa quantità di elettricità, la grossezza dello strato elettrico e la tensione del conduttore elettrizzato saranno di tanto minori, quanto più sarà grande la superficie del conduttore che si considera. Se si vuole che in questi diversi conduttori abbia lo strato elettrico la stessa grossezza, che tutti abbiano la stessa tensione, bisogna che la quantità di elettricità che è loro comunicata, cresca colla loro superficie. La quantità di elettricità o *carica elettrica* di un conduttore è dunque in ragione composta della sua tensione e capacità. Da ciò viene che distribuita una quantità d'elettricità data sopra un conduttore, se la sua capacità viene a crescere, la tensione dell'elettricità su di lui dovrà diminuire, e crescerà invece quando la capacità diminuisca. Queste conseguenze della teoria molto facilmente vengon dimostrate dall'esperienza. Immaginate infatti una serie di tubi metallici che entrino l'uno nell'altro a foggia di quelli di un cannocchiale, ed adattate un manico isolante al più stretto di loro; poi mettete in contatto del conduttore più grosso un elettroscopio qualunque: elettrizzando il sistema mentre i tubi stanno l'uno nell'altro, vedete diminuire i segni dell'elettrometro quando tirate fuori i conduttori, ed in tal guisa estendete la superficie su cui l'elettricità si distribuisce. Respingete in dentro i conduttori, richiudete l'istrumento, e i due

pendolini mostran da capo la loro prima maggior divergenza. Vedete questo conduttore metallico isolato, intorno di cui ho avvolta una lamina metallica di stagnola che ha un manico isolante. Se dopo avelo elettrizzato svolgo la lamina, la divergenza dell'elettroscopio che gli ho messo a contatto diminuisce, e cresce per contrario a mano a mano che gli ravvolgo la lamina intorno. Ripetete l'esperienza di Fraoklin ponendo in un catino o piattello di una bilancia da cui pendano alcuni fili conduttori, una catenella metallica ammucchiata, e sostenuta da un cordoncino di seta. Dopo avere elettrizzato il tubo traete fuori la catenella, e vedrete a mano a mano diminuire la divergenza de' fili, la quale crescerà invece lasciando scendere la catenella ed ammucchiandola maggiormente. Fate che questa catena abbia una superficie infinitamente grande rispetto a quella del piattello, e la divergenza si renderà insensibile. E questo è appunto il caso della terra, che abbiamo chiamato *serbatoio comune*, su della quale si può scaricare una quantità di elettrico grande come si vuole.

Nè la capacità per l'elettrico varia solamente secondo la estensione superficiale del conduttore; ma dipende pur anche dalla sua figura. Il nostro Volta mostrò coll'esperienza, che di due conduttori eguali in superficie, ha sempre più capacità per l'elettrico quello che si estende maggiormente in lunghezza. Così una lamina quadrata di stagno di una data superficie mostra con una data quantità di elettricità una tensione molto maggiore di un lungo cilindro dello stesso metallo che abbia la stessa superficie della lamina. La capacità del cilindro è dunque assai maggiore di quella della lamina. Volta provò che avendosi, p. es., a quadruplicare la superficie di un cilindro lungo due piedi e grosso due pollici, si ha molto maggior accrescimento di capacità quadruplicandone la lunghezza, di quel che non s'avrebbe quadruplicandone il diametro. Giova perciò, quando si voglia un conduttore molto capace, di abbandonare i grossi e corti cilindri, ed attenersi invece ai sottili e lunghi, ben inteso però che non si rendano tanto sottili da farne una specie di sistema di punte. Una grossezza di sei linee data a conduttori terminati da palle un poco maggiori di diametro, è la più opportuna. Vedete qui otto bastoni metallici terminati in sfere, disposti in quadro, che si toccano tutti ed hanno a sè unito un elettroscopio: se lo fo prova di elettrizzarli colla macchina, mi è d'uopo di ben più lungo tempo perchè l'elettroscopio m'indichi la stessa tensione, che in una sola piccola sfera metallica ottengo con poca elettricità. Questa maggiore capacità dei conduttori lunghi e stretti in confronto dei grossi, fu scoperta da Volta prima che se ne potesse dare la teoria coi principi che abbiamo esposto sull'equilibrio dell'elettricità alla superficie dei corpi.

Anche la disposizione relativa dei conduttori influisce sulla loro capacità per l'elettrico. Disponete una sfera metallica al centro di molti conduttori cilindrici che divergano a guisa di raggi, o invece mettete i conduttori di seguito l'uno all'altro, procurando che la stessa sfera sia collocata ad una delle estremità. La capacità della sfera rispetto a quella dei cilindri sarà assai maggiore in questo secondo caso che nel primo. Se avete tre palle eguali a contatto, disposte in guisa che i loro centri formino un triangolo equilatero, le loro capacità saranno eguali; mentre disposte in linea retta, la capacità della palla media starà a quella di ciascuna delle estreme come 1 a 1,34. Mettendo una palla metallica nel concavo di una scodella pure metallica, prenderà una quantità di elettricità assai minore di quella che prenderebbe collocandola sul convesso della scodella medesima.

Noterò infine che tutte le leggi stabilite intorno alla distribuzione dell'elettricità sui corpi conduttori, si verificano egualmente colle due specie di elettricità.

Resta che esaminiamo la distribuzione dell'elettricità nei corpi coibenti. In questi corpi una tale distribuzione è soggetta a leggi molto più complicate che non è nei conduttori. L'elettricità tende a distribuirsi su questi come sui conduttori; se non che si arresta allorquando la facoltà coibente vince la forza propria ripulsiva per cui l'elettricità tende ad espandersi. Se tocco una lastra di vetro o di resina col conduttore elettrizzato, trovo che l'elettricità non si è sparsa, non si è diffusa che ad una piccola distanza dai punti toccati.

Osservate che gettando sopra questo vetro, o resina toccata da un corpo elettrizzato, della polvere di zolfo che si elettrizza sortendo da un velo di seta, essa si raccoglie intorno ai punti toccati, e dipinge i segni invisibili fatti coll'elettricità sul corpo coibente. Sopra un corpo conduttore invece, appena è toccato un suo punto con un corpo elettrizzato, tutti i suoi punti, per quanto lontani s'immaginino, sono all'istante elettrizzati. In generale conviene risovvenirsi di ciò che abbiamo detto sulla conducibilità e coibenza dei corpi per l'elettrico, che cioè cotali proprietà non sono in un modo assoluto nei corpi; e non avvi fra loro che una differenza di grado. Da ciò vie-

ne, che sempre veggiamo disperdersi una porzione dell' elettricità contenuta nei conduttori pel sostegni isolanti di vetro o di resina. Coulomb trovò che la distanza alla quale si estende l' elettricità in un cilindro coibente cresce in un certo rapporto colla carica elettrica che si vuol isolare, e in tutti i casi lo strato elettrico sul coibente diminuisce a misura che i suoi punti sono più lontani dal conduttore elettrizzato che per lui si isola. Può quindi aversi un cilindro coibente tanto lungo da isolare del tutto una data carica. Il qual fatto si verifica sospendendo piccole palle elettrizzate a fili di gomma-lacca più o meno lunghi, posciachè trovasi allora che passato un certo limite di lunghezza, una palla elettrizzata perde la stessa quantità d' elettricità, sia essa sospesa a uno, e a due o più fili di gomma-lacca. Risulta da questo sperimento, che la perdita di elettricità non può più aver luogo per mezzo del coibente.

Convien notare che per molti corpi coibenti diminuisce la proprietà isolante a cagione di un velo o strato d'acqua che si depone sulla superficie loro. Ond'è che ai cilindri di vetro si dà sempre una vernice di resina per impedire la formazione del velo d'acqua, che tanto facilmente si fa sui vetri. Ma torneremo sopra questo soggetto allorchè ci converrà parlare più diffusamente della conducibilità dei corpi per l'elettrico.

Anche per l' aria si dissipa l' elettricità. E per lei in fatti un conduttore sostenuto da un lungo cilindro coibente perde una porzione della sua elettricità. Coulomb ha trovato con un gran numero di osservazioni, che in una massa d'aria di cui la temperatura e la quantità di vapore d'acqua restino costanti, la perdita fatta da un corpo elettrizzato isolato in un tempo brevissimo è proporzionale alla carica elettrica, e quindi sempre eguale alla stessa frazione di questa carica. Partendo da questa legge può determinarsi, al principio d' una serie d'esperienze fatte a circostanze eguali, la frazione che rappresenta la perdita d' elettricità in un dato numero di secondi, e così correggere da questa perdita le osservazioni fatte a certi intervalli di tempo.

La conducibilità cresce grandemente nell' aria, se questa è agitata, o resa meno densa col riscaldamento o in altro modo, o infine se si carica di vapore acqueo. Provate a girare con la fiamma di una candela attorno di un conduttore elettrizzato, ed all' istante lo vedrete scaricarsi. Il che parmi conduca a spiegare il vantaggio che si ha nell' esplorazione dell' elettricità dell'atmosfera terminando il conduttore che comunica coll' elettroscopio per mezzo di un cerino acceso, o di un pezzo d' esca accesa. Osservate infatti che anche tenuto l'elettroscopio a qualche piede dal conduttore della macchina elettrica, si veggon divergere i pendolini allorchè accendo il cerino che vi è unito. Con questi stessi principi credo debba spiegarsi il fatto che ho più volte osservato esplorando l' elettricità atmosferica coll' elettroscopio munito della fiamma. Un colpo di fucile scaricato dirigendolo in alto e vicino all' elettroscopio, fa crescere grandemente i segni dell' elettricità già indicati dall' istrumento, essendochè per tal mezzo si ha una colonna più lunga d' aria agitata, calda, e umida. E questa deve altresì esser la cagione del vantaggio, se pur ve n' ha realmente, che credevano di avere gli antichi accendendo fuochi di legna leggiere onde scaricare le nubi cariche d'elettricità. E parrebbe invero non mancare, stando alle osservazioni di un Parroco del Cesenate in Romagna, fatte da qualche anno con questo processo. Ma di ciò diremo più innanzi diffusamente.

LEZIONE XXXV e XXXVI.

Fenomeni generali dell' influenza o induzione elettri a nei conduttori isolati, e nei conduttori in comunicazione col suolo. — Segni degli elettroscopi. — Elettricità delle cascate d' acqua. — Macchina elettrica. — Parafulmini.

I fenomeni che abbiamo studiati sin qui appartengono ai corpi elettrizzati, o per confricazione o per contatto, con corpi elettrizzati. Ma non sono questi i soli mezzi onde abbiamo i fenomeni di elettricità statica; perciocchè veggiamo altresì prodursi talora lo stato elettrico senza che siavi comunicazione con corpi elettrizzati, talora lo viluppo avere origine da un' azione esercitata in distanza da un corpo elettrizzato sopra corpi allo stato naturale. Quest' azione dell' elettricità libera sull' elettricità dei corpi allo stato naturale o fluido neutro, è della maggiore importanza: e forse verrà un gior-

no che la teoria dell'elettricità statica e della dinamica dovrà muovere da questa maniera di agire. Il fatto fondamentale di cotesta azione è il seguente. Due conduttori A e B isolati sono disposti ad una certa distanza l'uno dall'altro, e forniti di parecchi pendolini (*Fig.* 77). Elettrizzo colla macchina elettrica il conduttore A, e all'istante veggo i pendolini dell'altro conduttore B aprirsi. Accosto un pendolino ai diversi punti del secondo conduttore, e m'accorgo anche in questo modo che è elettrizzato. Nè v'induceste già a credere che il suo stato elettrico dipenda dall'essersi diffusa e passata in lui una parte della elettricità del conduttore elettrizzato colla macchina; perchè se così fosse avvenuto, dovrebbero nel primo sussistere i segni di elettricità con tutto che venisse allontanato dal secondo; e per contrario li vedete nel medesimo sparire in conseguenza di tale allontanamento. Oltre di che se allo strato d'aria interposto fra il corpo elettrizzato e l'altro che s'elettrizza per influenza sostituite uno strato di vetro, di resina, di zolfo, di un corpo coibente qualunque, succederanno gli stessi fenomeni. A quest'azione che ha l'elettricità libera di elettrizzare in distanza un corpo allo stato naturale, si dà il nome d'*influenza* o *induzione* elettrica. Passiamo ad esporre con ordine i suoi fenomeni.

1. La divergenza nei vari pendolini distribuiti sul conduttore elettrizzato per influenza, non è eguale in tutti i punti della sua lunghezza: quelli che trovansi alle due estremità m ed n del cilindro elettrizzato per influenza divergono maggiormente dei pendolini intermedii che sono in p; e si osserva anzi verso il mezzo del cilindro un punto, nel quale non v'è affatto divergenza. Scorrendo lungo il conduttore elettrizzato per influenza con un pendolino isolato per mezzo d'un filo di seta, ho lo stesso risultato: cioè è attratto in tutti i punti, e maggiormente dagli estremi, e vi sono dei punti intermedii che non lo attirano. Toccando con un piano di prova i diversi punti del cilindro elettrizzato per influenza e portandolo ogni volta alla bilancia di Coulomb, ho un'altra prova del modo con cui l'elettricità è distribuita sul conduttore influenzato. In generale un corpo elettrizzato per influenza, possiede nei punti i più prossimi al conduttore elettrizzato colla macchina e nei punti più lontani, la massima elettricità, e fra essi ve ne sono degl'intermedii non elettrizzati, al quali s'arriva gradatamente partendo dalle due estremità. Questi punti intermedii variano di posizione col variare della distanza del conduttore elettrizzato che produce l'influenza; e vi s'avvicinano perciò maggiormente al diminuire di questa distanza, e cresce nello stesso tempo la divergenza in tutti i pendolini: e per contrario tanto più si allontanano, quanto più si scosta l'un conduttore dall'altro.

2. Il punto intermedio non elettrizzato di un conduttore sottoposto all'influenza elettrica, è il punto di separazione delle due elettricità negativa e positiva, che trovansi raccolte al massimo grado nei punti estremi del conduttore influenzato. Accostando un bastone di ceralacca confricato ai pendolini dei punti estremi del conduttore elettrizzato per influenza, trovo di fatto che gli uni sono attratti, gli altri respinti. Lo stesso risultato si ottiene accostando ai diversi punti di questo conduttore un pendolino isolato con un filo di seta e già elettrizzato; poscia che lo vedete attratto ad un'estremità, respinto all'altra, e maggiormente poi nei punti estremi.

3. Quella elettricità che si raccoglie per influenza nella parte più prossima al conduttore elettrizzato dalla macchina, è sempre contraria all'elettricità del conduttore che produce l'influenza. Vedete infatti corrersi contro i pendolini S ed m che sono sul conduttore elettrizzato a sul punto m più prossimo a questo del conduttore elettrizzato per influenza. Accostando ai pendolini dei due conduttori il bastone confricato di ceralacca, si ottiene anche meglio questo risultato. L'elettricità sul conduttore elettrizzato per influenza è perciò della stessa specie dell'elettricità del corpo A, nel punto n che gli è più lontano. E questo risultato è costante, qualunque sia la specie d'elettricità che produce influenza.

4. Disponendo una serie di conduttori tutti sulla stessa linea e ad una certa distanza l'uno dall'altro, ed elettrizzandone uno colla macchina, tutti gli altri si elettrizzano nello stesso tempo per influenza, e per tutti si trova sempre che le elettricità nei punti più prossimi sono di natura contraria. Questo fenomeno avviene, qualunque sia il punto della superficie del conduttore elettrizzato per influenza a cui si avvicina l'altro conduttore pure isolato. Accostato il quale ai punti che dicemmo essere allo stato naturale e che separano le due elettricità, si vede all'istante cessare la divergenza dei pendolini nei punti lontani, e la elettricità che vi era, quella respinta, portarsi in faccia al conduttore avvicinato, e quest'ultimo elettrizzarsi per influenza.

Il semplice annunzio di questi risultati, che vedemmo confermarsi dall'esperienza, scopre le deduzioni che se ne possono cavare. 1. Poichè il conduttore elettrizzato per influenza non riceve elettricità dal con-

duttore elettrizzato colla macchina, e bene lo abbiamo provato mostrando che cessa affatto d' essere elettrizzato allontanandolo dal primo, convien concludere che contenga in lui stesso i principi, gli elementi, quali essi sieno, delle due elettricità che in lui si sviluppano per influenza. 2. Al cessare dell' influenza del conduttore elettrizzato cessando le due elettricità senza che alcuna porzione delle medesime possa disperdersi, bisogna ammettere che riunendosi di nuovo sieno in proporzioni da neutralizzarsi e riprodurre lo stato naturale. 3. Questa neutralizzazione non altera in modo alcuno lo stato elettrico naturale, poichè mille volte successivamente può elettrizzarsi un conduttore per influenza, e ridursi alle stato naturale.

Per mostrarvi sin d'ora tutta la generalità che ha lo sviluppo d'elettricità per influenza, vi farò osservare che non può esservi corpo elettrizzato senza che siavi in pari tempo sviluppo d' elettricità per influenza ne' corpi che lo circondano. Posto ciò, torniamo al primo fatto d' elettricità già studiato, ricordando che delle sviluppo d'elettricità ci fece accorti l'attrazione dei corpi leggieri. Egli è chiaro doversi ammettere che questi corpi leggieri attratti sono elettrizzati per influenza, e che l'attrazione è sempre fra corpi elettrizzati in modo contrario. E tal conclusione è così giusta, che l'attrazione cessa o si fa più debole sui corpi leggieri fatti di sostanze coibenti che malamente s'elettrizzano per influenza, appunto perchè malamente conducono l'elettricità. Fate due pendolini, uno dei quali sia una pallina di ceralacca, e l'altro una pallina della stessa sostanza, dorata alla superficie. Avvicinando un cilindro di ceralacca confricato, la prima pallina è appena attratta, l' altra è attratta assai bene perchè quella si elettrizza malamente per influenza, e questa facilmente.

Ma proseguiamo ad esporre i fenomeni dell'elettricità sviluppata per influenza. Dopo ciò che abbiamo detto sulla maniera con cui l'elettricità esercita quest'azione in distanza, s'intende facilmente che in due modi diversi possiam distruggere lo stato elettrico sviluppato per influenza. Osservate quello che accade allorchè allontano i due conduttori l'uno dall'altro: s'abbassano immediatamente i pendolini del condottore elettrizzato per influenza. Questo stesso fenomeno succede, scaricando subitamente il conduttore elettrizzato; il che si fa accostandovi un dito o un corpo conduttore qualunque, nel qual caso scocca la scintilla. Merita però d'esser notata una differenza fra questi due modi di distruggere l'influenza elettrica. Allontanando i due conduttori l'uno dall'altro, si veggono i pendolini ritornare a poco a poco alla loro posizione naturale; le due elettricità si riuniscono così gradatamente, e non è istantanea la distruzione delle stato elettrico sviluppato per influenza. Invece quando io scarico con scintilla il conduttore elettrizzato colla macchina, vedete i pendolini del condottore elettrizzato per influenza cader subitaneamente: le due elettricità separate per l'influenza si ricompongono colla stessa rapidità, con cui è scomparsa l'elettricità sul conduttore influente. Questo modo rapido di riunirsi delle due elettricità produce alcuni di quei fenomeni, che vedremo appartenere all'elettricità in movimento. Se il passaggio dell'elettricità si opera nel corpo d'un animale assai sensibile, vi si veggono svegliate le più violenti contrazioni. Eccovi il modo di fare quest'esperienza: prendete una rana o viva o scorticata, e sospendendola ad un filo di seta, tenetela ad una qualche distanza da un conduttore elettrizzato: sulle prime, all'elettrizzarsi del conduttore, non vi accorgete di alcun movimento nella rana: pur tuttavia il suo corpo s'elettrizza per influenza; e se ad un tratto venete a scaricare il conduttore della macchina, vedrete svegliarsi le più forti contrazioni nella rana. Di tal guisa si ha una scarica elettrica prodotta dalla riunione subitanea delle due elettricità gradatamente separate per influenza. Vedremo in breve che questo fenomeno accade anche se la rana è messa in comunicazione col suolo, e perciò accade sopra un uomo posto a qualche distanza dal conduttore di una macchina elettrica, ed a più forte ragione ciò è prodotto dalle cariche elettriche fortissime delle nubi elettrizzate. Questa scarica, che distinguiamo col nome di *colpo di ritorno*, è caratterizzata dall'accadere senza che l'elettricità sia direttamente scaricata sul conduttore in cui si fa la scarica o colpo di ritorno. Con ciò si spiega come alcuni individui periscano di fulmine, mentre questo si scarica a una grande distanza dal loro corpo. E di vero una nube elettrizzata, elettrizza per influenza tutti i conduttori che vi si trovano ad una certa distanza, e a poco a poco avvicinandovisi, crescono fortemente le cariche elettriche sviluppate per influenza. Se intanto avviene che la nube elettrizzata si scarichi istantaneamente in un punto qualunque, le cariche elettriche sviluppate in tutti gli altri per la sua influenza cesseranno subitamente, e si avranno così tante scariche o tanti fulmini per colpo di ritorno.

Sin qui abbiamo supposto che il condut-

tore soggetto all'influenza elettrica non fosse in comunicazione col suolo: esaminiamo ora ciò che accade allorchè vi comunica. Riprendiamo il cilindro isolato, ed accostiamolo al conduttore elettrizzato colla macchina. Veggiamo tutti i suoi pendolini aprirsi. Tocchiamo allora il conduttore elettrizzato per influenza in uno dei suoi punti in cui è raccolta l'elettricità respinta dal conduttore della macchina, e vedremo cessare nei pendolini di questo ogni divergenza, se allora, tolto il contatto col suolo, allontaniamo i due conduttori in modo che cessi l'influenza, vedremo continuare la divergenza di tutti i pendolini del conduttore già elettrizzato per influenza, e quindi tutto questo conduttore essere elettrizzato di una stessa elettricità, che è quella contraria all'elettricità della macchina, quella raccolta nella parte più vicina del conduttore elettrizzato. Questo stesso risultato si ottiene qualunque sia il punto del conduttore influenzato che si metta in comunicazione col suolo, a in tutti i casi avvien sempre, che l'elettricità respinta per influenza nella parte più lontana è quella che scompare per questa comunicazione col suolo.

In qual si voglia modo ci rappresentiamo l'elettricità, i fenomeni descritti s'intendono facilmente colle leggi generali dell'influenza elettrica dedotte dalla esperienza. E di fatto egli è chiaro, che quando si mette il conduttore influenzato con un suo punto qualunque in comunicazione col suolo, ciò equivale a farne un sol conduttore colla terra; e poichè per le leggi dell'influenza elettrica l'elettricità della stessa specie di quella della macchina si trova respinta nella parte la più lontana del conduttore, ne viene che tutta questa elettricità respinta si sparge sulla superficie immensa della terra, e la sua reazione elettrica diviene insensibile. Cessato il contatto col suolo, allontanati i due conduttori, tolta l'influenza elettrica, l'elettricità non più attratta da quella del conduttore della macchina, rimane libera, si sparge sopra tutto il conduttore, che si trova perciò carico di elettricità contraria a quella della macchina. E questo si è uno dei modi con cui giungiamo ad aver libera e separata una delle due elettricità sviluppate per influenza.

A tale principio ci conviene ricorrere ogni volta che vogliamo dare spiegazione de' segni di un elettroscopio. Allorchè accosto, ad una certa distanza, un corpo elettrizzato alla pallina di un elettroscopio, veggo aprirsi più o meno i due pendolini, o le due paglie, o le due foglie d'oro. Di due corpi elettrizzati che accosto egualmente all'elettroscopio, quello che produce la minor divergenza è di certo il meno elettrizzato. Per altro dobbiamo guardarci dal credere gli angoli di divergenza proporzionali alle forze elettriche, giacchè v'è fra questi due fenomeni una relazione ben più complicata. È inutile avvertire che i segni dati dall'elettroscopio, operando come v'ho detto, sono di elettricità per influenza: i due pendolini mobili s'aprono per l'elettricità respinta nella parte più lontana del conduttore influenzato, e quindi per l'elettricità della stessa specie del corpo elettrizzato che avvicino. Se mentre questa vicinanza sussiste tocco con un dito la pallina dell'elettroscopio, veggo cessare la divergenza dei due pendolini. Ritiro il dito, e poscia allontano il corpo elettrizzato; veggo allora ricomparire la divergenza, e son certo che questo avviene perchè rimane carico di elettricità contraria a quella del corpo elettrizzato, cioè dall'elettricità attratta per influenza. Qualunque corpo elettrizzato accosti di nuovo all'elettroscopio, farà crescere la divergenza se è elettrizzato dalla stessa elettricità di quella dell'elettroscopio: e così agirà per influenza spingendo nei pendolini la stessa elettricità che essi posseggono. Ma non conchiuderò già per questo che il diminuire della divergenza prodotto da un corpo avvicinato all'elettroscopio, è segno che è elettrizzato di elettricità contraria. Anche un corpo allo stato naturale avvicinato all'elettroscopio elettrizzato produrrebbe, per l'influenza sofferta, l'attrazione dell'elettricità dell'elettroscopio nella parte più vicina, per cui i pendolini mostrerebbero una minore divergenza. Così l'aumento di divergenza è sempre una prova decisiva, mentre non lo è la diminuzione; salvo se non è questa grandissima e tale che proseguendo ad avvicinare all'elettroscopio il corpo, non si vegga cessare affatto la divergenza per poi ricomparire, prodotta da un'elettricità contraria. Vi farò ancora osservare che sarebbe impossibile di tentare delle sperienze comparative cogli elettroscopi, quando non si avesse cura di ben disseccare l'aria interna ed esterna che li circonda. Per lo che gli elettroscopi si rinchiudono in una campana di vetro, entro cui si tengono dei frammenti di cloruro di calcio, o di calce caustica, corpi assai avidi di umidità. Si accresce eziandio la sensibilità loro aggiungendo due conduttori metallici a poca distanza dai pendolini, e nello stesso piano in cui essi divergono: i quali due conduttori a, b (*Fig.* 101) si elettrizzano per influenza, ed accrescono perciò la divergenza dei pendolini, e servono a scaricarli. Soglio con vantaggio render mobili questi due conduttori per mezzo di due aste dentate; in tal guisa il

porto più o men vicini ai pendolini, secondo il diversogrado di forza elettrica che li deve far divergere.

Evvi pure una curiosa maniera di caricare per influenza un conduttore non isolato la quale non so non esporvi perchè ci offre una spiegazione assai fondata di un fenomeno meteorologico. Lasciando uscire una serie di gocce di acqua da un recipiente metallico in comunicazione col suolo, si trova che se un conduttore della macchina è a poca distanza dal getto d'acqua ed è elettrizzato, le gocce cadono tutte elettrizzate di un'elettricità contraria a quella del conduttore della macchina. L'esperienza può anche tentarsi colla fontana di compressione, che ben conoscete. Si metta un piatto metallico in comunicazione con la pallina di un elettroscopio a foglie d'oro. Collocandomi ad una certa distanza dal conduttore elettrizzato della macchina, fo escire il getto d'acqua della fontana di compressione: una porzione della pioggia è raccolta sul piatto metallico che comunica coll'elettroscopio, e voi vedete le foglie divergere per elettricità negativa. È questo un resultato evidente dell'elettrizzazione per influenza di un conduttore in comunicazione col suolo: tutte le gocce d'acqua che escono dal vaso prima che si distacchino dal getto, sono elettrizzate per influenza di una elettricità contraria a quella del conduttore della macchina, mentre l'elettricità della stessa specie è spinta nel suolo. Le gocce una volta distaccate portano seco l'elettricità contraria in loro sviluppata per influenza. Così molto probabilmente dobbiamo spiegarci il fenomeno dell'elettricità negativa che Tralles, Volta ed altri hanno trovato nelle gocce d'acqua delle cascate naturali. Quando parleremo dell'elettricità dell'atmosfera vi dirò che questa è generalmente positiva, e in special modo nei giorni sereni: laonde si deve ammettere che l'influenza di quest'elettricità positiva elettrizzi le gocce d'acqua delle cascate, come abbiam visto accadere nel nostro getto della fontana di compressione, per cui raccolte queste gocce si trovino elettrizzate negativamente. In conferma delle quali idee il dotto fisico Belli ci ha fornito di un'ingegnosa sperienza. In un giorno di ciel sereno in cui l'atmosfera dava segni notabili di elettricità positiva, egli raccolse, in un recipiente opportuno in comunicazione con un elettroscopio, la pioggia di un getto d'acqua lanciato in aria da una fontana di compressione, e trovò che questa pioggia era carica d'elettricità negativa. Del rimanente un'altra prova può torre ogni dubbio sulla convenienza di questa spiegazione. In alcune circostanze l'atmosfera dà segni d'elettricità negativa: se dunque la data spiegazione dell'elettricità delle cascate d'acqua è ben fondata dobbiamo in dette circostanze trovar le gocce elettrizzate positivamente.

Per questi stessi principî dell'influenza elettrica ci è dato d'intendere come un conduttore isolato ed elettrizzato per influenza possa mostrarsi carico della stessa elettricità che è sul corpo che lo elettrizza, e ci è dischiusa la via a spiegare il giuoco della macchina elettrica. Adunque secondo le leggi generali dell'influenza che abbiamo esposte, ogni volta che un cilindro metallico, isolato o no, si trova ad una certa distanza da un altro conduttore elettrizzato, acquista, nella parte più vicina a questo conduttore, una carica di elettricità di natura contraria a quella del conduttore elettrizzato. Quest' elettricità è sviluppata e ritenuta dall'attrazione dell'elettricità contraria; per lo che non si disperde, quantunque il conduttore su cui si trova comunichi col suolo. Se però toccheremo col piano di prova questo conduttore elettrizzato per influenza, potremo giudicare della grossezza del suo strato elettrico dalle indicazioni che darà il piano di prova. Coulomb ha fatto su di ciò una serie di esperienze, di cui eccone i risultati. La grossezza dello strato elettrico sviluppato per l'influenza di un conduttore elettrizzato, in un conduttore o isolato o in comunicazione col suolo, è la maggiore possibile all'estremità stessa del cilindro. Da questo punto decresce con rapidità sino ad una lunghezza eguale a quattro o cinque diametri del cilindro, dopo il qual punto diminuisce regolarmente con una legge che può rappresentarsi colla ragione reciproca del quadrato della distanza al centro del globo, o conduttore elettrizzato che produce l'influenza. Ponendo lo stesso conduttore a diverse distanze dalla superficie di un globo elettrizzato, si vede, col piano di prova, che la grossezza dello strato elettrico sviluppato per influenza all'estremità del cilindro, diminuisce al crescere della sua distanza dal centro del globo, e nel rapporto della potenza 3/2 di questa distanza. Presentando successivamente a questo globo elettrizzato e ad una distanza costante, diversi conduttori cilindrici di cui il raggio sia assai piccolo in confronto di quello del globo, Coulomb ha trovato che la grossezza dello strato elettrico sviluppato per influenza è quasi esattamente reciproca ai loro raggi, e per conseguenza tanto più grande quanto più sono sottili i cilindri. Infine conservando le stesse, e le distanze e i raggi dei conduttori cilindrici avvicinati al globo elettrizzato, si trova per l'esperienze di Coulomb, che le grossezze di questi strati elettrici sviluppati per influen-

za, sono proporzionali alla quantità di elettricità del globo, misurandola allorchè questo non è in vicinanza del cilindro che elettrizza per influenza. Se il conduttore avvicinato al globo è terminato in punta nella parte più vicina, l'elettricità contraria sviluppata per influenza si accumulerà sulla punta, e accadrà allora ciò che abbiamo visto accadere sui conduttori terminati in punta: la tensione sulla punta è tale da vincere la resistenza dell'aria. Allorchè questo avviene, se il cilindro è isolato, rimane carico di un eccesso d'elettricità contraria di quella che fugge dalla punta, cioè della stessa di quella del corpo elettrizzato che produce l'influenza. Provate a presentare un conduttore isolato munito di punta ad un conduttore elettrizzato, a vedrete all'istante, anche ad una grande distanza, aprirsi tutti i pendolini posti sulla superficie, e tutti mostrare la stessa elettricità del conduttore elettrizzato. Munite di una punta la pallina di un elettroscopio e presentategli, anche a grande distanza, un corpo elettrizzato: le sue foglie d'oro, le sue paglie divergeranno immediatamente. Di tal guisa dobbiamo concepire l'elettrizzarsi del conduttore della macchina elettrica. L'elettricità positiva sviluppata dalla confricazione dei cuscini sul piatto di vetro, e ritenuta per coibenza sulla sua superficie, agisce per influenza sul conduttore; attira l'elettricità negativa, respinge la positiva. Armando di punte linsieme il conduttore nelle parti vicine al vetro, l'elettricità attratta non può esservi ritenuta per la grande tensione che vi acquista, e va perciò ad unirsi all'elettricità positiva del vetro riducendolo allo stato naturale. Cessa in quest'istante l'influenza, e l'elettricità positiva rimani libera sopra tutto il conduttore isolato. Quando si voglia accumulare colla macchina elettrica una gran quantità d'elettricità, conviene aggiungere al conduttor della macchina una serie di conduttori, che son chiamati *conduttori secondari* di Volta. Già ne abbiamo data la descrizione, e la teoria. Senza una tale aggiunta l'elettricità positiva s'accumulerebbe presto sulla superficie del conduttore, e non tarderebbe ad acquistare tanta tensione da impedire il successivo sviluppo dell'elettricità sul vetro confricato.

Queste considerazioni ci mettono in grado d'indicare le condizioni più utili nella costruzione della macchina elettrica (*Fig.* 86, 90). Prima d'ogni cosa è necessario che i cuscini *p q* e *m n* della macchina comunichino col suolo. L'elettricità che nei cuscini si sviluppa per la confricazione sul vetro è, come già avvertimmo, contraria a quella del vetro: e perciò l'elettricità del vetro e quella de' cuscini tendono a riunirsi; la quale azione attrattiva diminuisce la quantità di cui il vetro può naturalmente caricarsi, e quindi la sua influenza sul conduttore. Può disporsi la macchina in modo da isolare a volontà i cuscini, e in questo caso raccogliere l'elettricità negativa che su di loro è sviluppata: basta per ciò d'isolare tutta la macchina sopra zoccoli di vetro, fare che il manico A B della macchina sia di vetro, o altrimenti isolare quello che confrica, e infine far comunicare col suolo il conduttore M N. Allora per raccogliere l'elettricità negativa basterà di far comunicare coi punti *m n* e *p q* un conduttore isolato. Sostituendo al piatto o disco di vetro un cilindro pure di vetro con due conduttori isolati ai fianchi, uno armato di punte, l'altro in comunicazione col cuscino, si possono avere simultaneamente le due elettricità: si pongono i due conduttori in vicinanza l'uno dell'altro in guisa che continuamente vi sia fra loro scarica di elettricità. In una macchina elettrica ben costruita, bisogna che le parti confricate del vetro giungano dinanzi alle punte, o *pettine* del conduttore, in modo, che abbiano perduto il men possibile d'elettricità: ciò si ottiene coprendo queste parti coi pezzi *e* e *e'* di seta. Conviene altresì che le punte sieno disposte sul conduttore di guisa, che restino dinanzi alle due facce del vetro: ond'è che si costruisce una specie di *mascella* armata di punte, in mezzo alla quale ruota il disco della macchina. All'estremità N M del conduttore, isolato con colonne di vetro verniciato, v'è un elettroscopio a quadrante.

L'azione de' *parafulmini* può ridursi ai principi or ora esposti in proposito della macchina elettrica. Non istarò a descrivere questi strumenti con tutta la estensione necessaria, nè vi parlerò dell'elettricità nel temporale, poichè più innanzi dovremo intertenerci a lungo su questo argomento. Vi dirò solo che un parafulmine non è altro che un conduttore metallico di cui un'estremità termina nell'atmosfera in punta aguzza, mentre l'altra comunica col suolo per mezzo di buoni conduttori. Si costruiscono perciò i parafulmini con una serie di verghe cilindriche o prismatiche di ferro aventi 15 a 20 millimetri di diametro, e sono innestate insieme con viti. Terminano nell'alto della fabbrica che si vuol difendere dal fulmine, con una verga che s'innalza sopra tutti i punti del tetto, ed è terminata in punta aguzza, la quale al solito s'indora, o si fa di platino perchè non sia distrutta dall'ossidazione. Queste verghe riunite scendono lungo i muri a terminano in un pozzo, in cui si è certo che vi è sempre una sufficiente quantità d'acqua anche nell'estate. L'estremità

delle verghe deva pescare nell'acqua. Si congiungono metallicamente all'asta del parafulmine tutte le parti metalliche esterne della fabbrica. Secondo l'estensione diversa del tetto si applica una o più aste terminate in punta, le quali si congiungono con un solo conduttore che scende nel suolo. L'esperienza ha provato, che lo spazio difeso da un parafulmine è un circolo che ha per raggio una lunghezza doppia dell'asta del parafulmine. L'effetto dei parafulmini confermato dall'esperienza è di neutralizzare l'elettricità delle nubi, e di condurla senza esplosioni, e quindi senza gravi danni, nel suolo. La teoria di questi apparecchi non varia da quella che esponemmo rispetto al conduttore della macchina elettrica. Quando adunque una nube elettrizzata sarà così prossima al parafulmine da esservi influenza, respingerà nel suolo la elettricità dello stesso nome della sua, e l'elettricità contraria portata per attrazione sull'estremità superiore del conduttore, vi acquisterà una tensione tanto più grande, quanto più lo è quella della nube. In tal guisa si stabilirà tra la nube e la punta del parafulmine, e per mezzo dell'aria umida interposta, una serie di scariche continue, la quale distruggerà lo stato elettrico della nube. E quando avvenisse che questo modo di scaricarsi della nube non bastasse a neutralizzare la sua elettricità e che quindi da questa escisse una proporzionata scintilla, la elettricità si porterebbe sempre sul parafulmine, come il miglior conduttore, donde poscia si disperderebbe nel terreno. Charles racconta d'aver visto più volte le nubi temporalesche avvicinarsi alla punta del suo cervo volante; aver luogo per qualche tempo fra quelle e la punta una serie di scintille simili ad un torrente di fuoco, e poi partirsene completamente scaricate. Il poco che ho detto sui parafulmini, basta a farvi conoscere la necessità di stabilire una perfetta conducibilità in tutto il sistema del conduttore metallico. Senza questa condizione l'elettricità portata sull'estremità aguzza del parafulmine si disperderebbe poi sui corpi vicini, essendo interrotta la comunicazione tra le diverse parti del conduttore.

Per non tacervi alcuna cosa dei più importanti fenomeni dell'influenza elettrica, devo parlarvi ancora di quelli prodotti da due sfere metalliche di dimensioni ineguali elettrizzate stando in contatto, e poi separate. Già abbiamo visto come si disponga l'elettricità sopra la superficie delle due sfere a contatto, e quale è la quantità che seco portano se vengono separate. Ora sè sono tenute a qualche distanza l'una dall'altra, vi si sviluppano per influenza alcuni fenomeni singolari; che l'analisi matematica di Poisson ha saputo rappresentare ed estendere. Sappiamo che nel punto di contatto delle due sfere non v'è elettricità: ma separate che siano, cessa questa nullità: e, supposta positiva l'elettricità che possedevano al contatto, si trova su questo punto nella piccola sfera dell'elettricità negativa. Allontanandole maggiormente, questa elettricità negativa diminuisce e torna a zero. Partendo da questo termine e seguitando a crescere la distanza fra loro, l'elettricità ritorna di nuovo positiva sopra tutta la superficie della piccola sfera, come è stata sempre sulla maggiore. Se poi le due sfere non sono state a contatto e sono elettrizzate d'elettricità della stessa natura o di diversa, si trova nell'avvicinarle che la grossezza degli strati elettrici, di natura in tutti i casi contraria, si fa sempre maggiore nei punti più vicini a misura che la distanza fra loro diminuisce, e cresce tanto da esservi scintilla tra una sfera e l'altra. Se dunque le due sfere avvicinate eran cariche d'elettricità contraria, conservano nei punti vicini l'elettricità contraria che avevano, e non v'è che aumento di tensione per l'avvicinamento; se poi sono cariche della stessa elettricità, la sfera più piccola che contiene una minor quantità d'elettricità libera, prende per influenza nel punto vicino alla sfera grande l'elettricità contraria di quella che questa possiede. In generale tutte le varietà di questi fenomeni dipendono dal rapporto che esiste fra i raggi delle due sfere, e le quantità d'elettricità di cui si caricano.

Prima di passare ad uno studio più profondo dell'influenza elettrica, tenendo conto delle azioni reciproche delle due elettricità che si fanno agire l'una sull'altra, e dell'azione diversa che hanno su questi fenomeni i corpi interposti, riassumerò in breve tutto ciò che ne abbiam detto sin qui. Ogni corpo elettrizzato ha all'intorno di sè uno *spazio* o *sfera d'azione* in cui trovandosi dei conduttori non aventi elettricità propria, essi nondimeno manifestano, per influenza elettrica che soffrono, uno stato elettrico della stessa natura del corpo elettrizzato: la quale elettricità poi è portata sul suolo se il conduttore sottoposto all'influenza non è isolato, o è soltanto spinta nelle sue parti più lontane se è isolato. La detta sfera d'azione segue necessariamente il corpo elettrizzato, e si mostra su tutti i corpi che lo circondano, sieno già elettrizzati o no, e qualunque sia il modo con cui lo sono. La medesima sfera d'azione, anzi l'azione stessa, solevasi un tempo chiamare *atmosfera elettrica*. Si badi però di non applicare a questa parola l'idea di una vera diffusione dell'elettricità del corpo. Per noi che più volte abbiamo protestato di volera

attenerci, nella esposizione dei fenomeni elettrici, ai soli risultati sperimentali, abbandonandoci il men possibile alle ipotesi, non ci estenderemo a parlare delle atmosfere elettriche come fondamento delle spiegazioni di questi fenomeni. Si è già definito qual sia il valore che colla scorta delle sperienze può assegnarsi a questa parola, e quale l'importanza di questo fatto, che discende immediatamente dalla teoria dell'induzione elettrica.

LEZIONI XXXVII , XXXVIII , XXXIX.

Elettricità dissimulata o latente. — Condensatore. — Boccia di Leida. — Elettroforo.— Capacità specifica induttiva dei corpi. — Teoria generale dell'induzione.

Sin qui abbiamo studiato i fenomeni più generali dell'influenza o induzione elettrica, quelli che si mostrano i primi nello studio dell'azione in distanza di un corpo elettrizzato sopra un altro corpo allo stato naturale, secondo che è isolato o in comunicazione col suolo. Abbiamo pur visto come quest'azione, da noi considerata sino ad ora nel solo corpo sottoposto all' influenza, variava secondo la distanza e la carica del corpo elettrizzato. Ci rimane a vedere se per quest'azione varia lo stato elettrico del corpo elettrizzato che la sviluppa; qual rapporto passa fra le quantità d'elettricità del corpo che sviluppa l'influenza e quella del corpo su cui si sviluppa: qual parte hanno in cotali azioni i corpi interposti, e se questa è varia secondo la loro natura.

Lo studio che con ciò proponiamo è di un'alta importanza; e quanto a me cercherò di dare ai medesimo la maggiore estensione e il miglior ordine che saprò. Immaginatevi due dischi metallici A e B [*Fig.* 91, 93] isolati, e perfettamente eguali, muniti ciascuno del doppio pendolino a guisa di un elettroscopio con quadrante: in tutti gli usi che faremo dei due dischi, supporremo sempre che questi sieno separati o da uno strato sottile d' aria, o da una lamina M N d'una sostanza coibente qualunque. Comunico ai due dischi una stessa quantità di elettricità della stessa specie, e per far ciò sicuramente, li tengo a contatto, e poi li tocco con un conduttore elettrizzato della macchina. Dopo averli separati da questo conduttore, li allontano l'uno dall'altro: così sono certo che essi ritengono una stessa quantità di elettricità. È inutile che io vi faccia osservare che i pendolini me lo provano colla loro eguale divergenza. In questo stato accosto i due dischi l'uno all'altro, e a mano a mano che ciò avviene, veggo crescere la divergenza dei pendolini, aumentarsi i segni della tensione elettrica sui due dischi. Può farsi questa stessa osservazione esaminando il modo con cui si distribuisce l'elettricità sopra una serie di palle tenute a contatto; perciocchè in tal caso troviamo sempre che la elettricità è raccolta in maggior copia ne' punti più lontani dal mezzo della serie. Da ciò pure la spiegazione della minore capacità per l'elettrico che ha un corpo unito ad un altro, in confronto di quella che ha preso separatamente. In generale può dunque dirsi, che avvicinando l' uno all' altro due corpi egualmente elettrizzati, le loro tensioni si rinforzano; ed è perciò che avvicinando i due piatti A e B elettrizzati egualmente, vediamo crescere la divergenza degli elettroscopi con cui comunicano, e questa diminuire allontanandoli. I quali fenomeni si verificano egualmente coll'elettricità negativa; sussistono tenendo a contatto i due corpi egualmente elettrizzati e tenendoli separati, qualunque sia il corpo coibente interposto.

Supponiamo ora di comunicare al disco A dell'elettricità positiva, e al disco B dell'elettricità negativa, e in eguali quantità sui due dischi, di che m'accorgo alla eguale divergenza dei due pendolini. Vedremo più innanzi come può comunicarsi questa eguale quantità di elettricità contrarie ai due piatti. Avvicino allora i due piatti, e a misura che li avvicino, veggo diminuire la divergenza dei pendolini, indebolirsi la tensione delle elettricità contrarie che essi posseggono. Non crediate perciò che le due elettricità si siano combinate, che vi sia stata scarica e neutralizzazione: e posso molto facilmente persuadervi, che non è così avvenuto se allontano di nuovo i due piatti l' uno dall'altro; nel qual caso vedete ricomparire la divergenza dei pendolini, risorgere allo stesso grado di prima i segni della tensione. Ora di questo fatto potete molto di leggieri intendere la ragione, se considerate che le due elettricità contrarie si sono *raccolte, condensate* nelle parti più vicine dei due piatti: e supposto che ognuno di loro abbia agito per influenza sull' altro piatto, come se in lui non si contenesse elettricità, egli è naturale che le cariche elettriche contrarie siensi accresciute nelle parti vicine dei due dischi, e siano invece diminuite nelle parti più lontane. E poichè i segni della tensione sono diminuiti, e tanto più quanto più i due dischi si sono avvicinati, potrò toccare or l'uno

or l'altro separatamente dei due piatti nei punti in cui sono cessati i segni della tensione, senza portarne via dell'elettricità. Aggiungo ancora, che la quantità di elettricità che uno di questi piatti può contenere mostrando una data tensione, allorchè non è in presenza dell'altro piatto carico di elettricità contraria, deve necessariamente esser minore di quella di cui potrò caricarlo affinchè mi mostri quella stessa tensione, messa che sia in presenza dell'altro piatto. Osservate la divergenza dei pendolini in uno dei dischi: avvicinato all'altro carico d'elettricità contraria, questa divergenza diminuisce; o perchè torni come prima, devo aggiunger nuova elettricità. In tale stato perchè la nuova divergenza sparisca, basta che io comunichi all'altro disco una seconda ed egual carica di elettricità simile a quella che già possedeva, e per conseguenza contraria a quella dell'altro disco. Se avrò a mia disposizione due sorgenti di elettricità, l'una positiva, l'altra negativa, colle quali io possa successivamente aggiungere nuove quantità d'elettricità ai due piatti, potrò accumulare delle forti cariche d'elettricità contrarie nei punti vicini dei due piatti, le quali due cariche saranno ritenute dalla reciproca loro attrazione, e cresceranno finchè lo strato coibente interposto potrà resistere alla loro attrazione, e così impedire la scarica. Ecco perchè queste due cariche contrarie ritenute dalla loro reciproca attrazione, si sogliono chiamare *dissimulate* o *latenti*. Ed infatti se lo tocco separatamente i due piatti, se anche li metto separatamente in comunicazione col suolo, non perdono elettricità; ma posso bene in ognuno dei due piatti far entrare contemporaneamente nuova quantità d'elettricità simile a quella che già esiste. Che se voglio far sparire le due cariche elettriche, lo potrò sempre quando con un corpo conduttore metta a contatto i due piatti, quando li tocchi l'uno coll'altro. Così le due elettricità si neutralizzano, tutto rientra allo stato naturale. Poichè non è che al contatto dei duo piatti che la neutralizzazione delle due elettricità può aver luogo, si concepisce facilmente che ad una certa distanza tra loro, la *dissimulazione* delle due contrarie elettricità non può esser *completa*. E in realtà si trova sempre nelle facce opposte dei due dischi qualche traccia di tensione, qualunque sia la carica, come possiamo assicurarci toccando i piatti in quei punti con un piano di prova. La dissimulazione adunque sarà tanto più perfetta, quanto più piccola sarà la distanza dei due piatti, e quindi piccola la grossezza dello strato coibente interposto. Viene da ciò che tanto più grandi sono le quantità d'elettricità che possono accumularsi per dissimulazione, quanto è minore la distanza o grossezza dello strato coibente; se non che al diminuire di questa grossezza vien meno anche la resistenza opposta alla riunione delle elettricità contrarie condensate e dissimulate nei punti i più vicini dei due dischi. E tanto basti per ora ad intendere ciò che limita il grado di accumulazione che possiamo dare alle cariche elettriche dissimulate.

Un'altra conseguenza di questi principi il modo lento con cui si possono distruggere le cariche elettriche dissimulate. Infatti se, mentre i due dischi A e B sono carichi di elettricità contraria o prossimi l'uno all'altro, tocco uno di questi con un corpo conduttore in comunicazione col suolo, veggo all'istante sparire sopra di lui quella piccola tensione che mostrava, o nell'istesso tempo sull'altro piatto veggo crescere la divergenza dei pendolini. Passo allora a toccare quest'ultimo collo stesso conduttore di prima, e veggo cessare in lui ogni divergenza, e ricomparire sull'altro piatto. Rinnovando successivamente questi contatti or sopra un piatto or sull'altro, spariscono alla fine due cariche, producendosi costantemente in ogni caso i fenomeni che ho descritti. Nè dev'essere altrimenti, perchè in così fare porto via la porzione d'elettricità libera sopra uno dei piatti, e distruggo una parte della forza attrattiva esercitata sull'elettricità contraria dell'altro piatto; laonde una porzione di questa divien libera, e fa divergere i pendolini. Per ogni contatto può ripetersi lo stesso ragionamento.

Abbiamo supposto sin qui che le elettricità comunicate ai due dischi venissero da duo sorgenti separate, e si comunicassero ai due piatti in quantità eguali. Ma v'è un altro modo per produrre queste cariche dissimulate. Mettete il disco A in comunicazione col conduttore della macchina, e fate che l'altro piatto B vi si trovi vicino, separato o da uno strato d'aria, o da uno di vernice coibente qualunque. I pendolini del piatto A divergono, e divergono pure quelli del piatto B. Allontanando i due piatti l'uno dall'altro il pendolino di B cessa di divergere, e ritorna allo stato naturale. Dunque vi è stata influenza; l'elettricità negativa del piatto B si è portata nella parte più vicina ad A, l'elettricità positiva nella parte più lontana. Ma poichè le due elettricità di B separate per influenza tendono a riunirsi, è chiaro che la quantità d'elettricità negativa attratta da A è limitata dall'attrazione della sua elettricità positiva, come è limitata da questa l'attrazione dell'elettricità del piatto A. Evvi un mezzo assai facile per fare spa-

rire l'elettricità positiva di B, e consiste nel metter questo piatto in comunicazione col suolo. Al momento che stabilisco questa comunicazione, cessa affatto ogni divergenza nel suo pendolino, diminuisce d'assai nel pendolino di A. Ora queste diminuzioni non sono che l'effetto della dissimulazione dell'elettricità contraria. E difatti mettendo il piatto B in comunicazione col suolo, ho fatto sparire tutta la sua elettricità positiva che produceva la divergenza, ed ho nell'istesso tempo accresciuta l'attrazione reciproca delle elettricità contrarie dei due piatti. È così vero che le due cariche non son altro che dissimulate, che se io allontano i due piatti l'uno dall'altro, veggo di nuovo la divergenza nei pendolini loro. L'effetto della quale dissimulazione, siccome già notammo, si è quello di accrescere la capacità dei due piatti, e di permettere l'accumulazione delle due elettricità. Adesso seguitiamo a tenere il piatto A in comunicazione colla sorgente, e il piatto B in comunicazione col suolo. Cresciuta la capacità in A, una nuova quantità di elettricità v'entrerà, e agirà per influenza sopra B, chiamando una quantità di elettricità negativa nella faccia più vicina, e spingendo nella faccia più lontana una quantità della positiva, la quale farò sparire mettendo il piatto in comunicazione col suolo. Così ad ogni sviluppo d'elettricità per influenza sul piatto B, tiene dietro dissimulazione di nuove elettricità contrarie, accumulazione di queste. Vi è però una sola condizione perchè questo fenomeno si continui, ed è che il piatto A comunichi colla sorgente dell'elettricità, e il piatto B comunichi col suolo. Non entra in A nuova elettricità se prima non n'è escita da B. V'è una sola circostanza che limita questa accumulazione; è la resistenza dello strato coibente interposto ai due piatti.

Nel descrivere quest'esperienze vi ho detto, che mettendo B in comunicazione col suolo cessava nel pendolino di questo piatto ogni divergenza, e *diminuiva* quella del pendolino del piatto A. Da ciò ci è provato, che in A è maggiore l'elettricità positiva di quel che non è in B l'elettricità negativa. E non può essere diversamente: quest'ultima in fatti è del tutto dissimulata, mentre la prima non lo è; e se mettessimo a contatto i due piatti, vedremmo rimanere libero un eccesso di elettricità positiva. Non può essere diversamente, giacchè l'elettricità positiva di A che attrae a distanza la negativa di B, è indebolita in ragione della distanza a cui opera: e poichè essa dissimula interamente l'elettricità negativa di B, deve colla sua quantità maggiore compensare l'indebolimento che soffre per la distanza. Lo stesso ragionamento deve farsi per l'elettricità negativa di B che dissimula una certa porzione positiva di A: questa porzione negativa di B sarà in maggior quantità della porzione positiva di A che essa dissimula. Riferirò qui il risultato numerico di un'esperienza, che rende evidente l'accumulazione dell'elettricità per dissimulazione. Si collochino i due piatti A e B muniti di elettroscopio a poca distanza l'uno dall'altro, e si carichi A di tanta elettricità positiva, che produca nell'elettroscopio una divergenza, p. es. di $+20^\circ$. Finchè B è isolato, il suo elettroscopio divergerà per una carica di elettricità positiva spinta per influenza nella parte la più lontana e di un numero di gradi alquanto minore di $+20^\circ$, p. es. di $+18^\circ$. Se metto il piatto B in comunicazione col suolo, il suo elettroscopio scende a zero; laonde ci conviene ammettere che vi rimane dissimulata nei punti più vicini ad A, una carica di elettricità negativa, la quale senza il piatto A mostrerebbe all'elettroscopio -18°. Nel tempo che l'elettroscopio di B scende a zero, quello di A scende pure notabilmente, e in questo caso si riduce a soli $+3^\circ,8$; giacchè se venti parti d'elettricità positiva del piatto A dissimulano in B -18° ossia $9/10 \times 20$, le -18° del piatto B dissimulano $9/10 \times 18^\circ$ dell'elettricità positiva di A, ossia parti 16,2 lasciandone libere sole 3,8. Avremo così in A, 20 parti di fluido positivo, nelle quali 3,8 libere, 16,2 dissimulate; e in B 18 di negativo tutte dissimulate. In questo stato suppongo di togliere da B la comunicazione col suolo, e di mettere A a contatto della sorgente elettrica: è chiaro che questo piatto prenderà 16,2 parti che son quelle che mancano perchè giunga di nuovo l'elettroscopio a $+20^\circ$. L'elettroscopio di B salirà a $9/10 \times 16^\circ,2 = 14^\circ,58$. Rimessa la comunicazione di B col suolo, il suo elettroscopio torna a zero, e si avranno in B altre 14,58 parti di elettricità negativa che dissimuleranno in A parti 9/10 14,58 ossia 13,12 di elettricità positiva: il suo elettroscopio segnerà perciò 6,88. Così il piatto A contiene $20+16,2$ parti di elettricità positiva, delle quali 6,88 sole rimangono libere. Rinnovando l'operazione già descritta, per portare l'elettroscopio di A a $+20^\circ$, dovrò aggiungere altre 13,12 parti d'elettricità positiva: col calcolo già indicato troverò che non rimane nell'elettroscopio di A che $+9^\circ$, 37 di elettricità libera. Seguitando successivamente ad aggiungere nuove quantità di elettricità positiva da portare A sempre a $+20^\circ$, seguiterò ad aggiungere in A delle quantità di elettricità misurate dai termini della progres-

sione geometrica decrescente: 20; 16,2; 13, 12;10, 63, 8,61 6,97 ec. La capacità di A si troverà così accresciuta per la presenza di B nella ragione di 3, 8 a 20, ossia di 1 a 5 5/19.

In generale si può calcolare il modo e il limite di queste accumulazioni col principio seguente. L'elettricità del piatto A, che scriverò d'ora innanzi con $+A$, dissimula una porzione in B d'elettricità negativa che designerò con $-B$. Questa porzione $-B$ dissimula corrispondentemente una porzione $+A'$ del piatto A. Rimane perciò libera sul piatto A la quantità $A-A'$ d'elettricità positiva. Continua perciò questo piatto a ricevere elettricità sino a che la sua carica giunga a quella tensione che avrebbe senza la presenza del piatto B. Esprimiamo con E la sua carica in questa circostanza, e avremo $E = A - A'$. La proporzione di A a $-B$, e di $-B$ ad A' dipende, come abbiamo visto, dalla distanza più o men grande dei due piatti, e da altre circostanze che vedremo più innanzi. In tutti i casi A è maggiore di $-B$, $-B$ maggiore di A'; e se ci rappresentiamo il rapporto di queste due quantità con m, a modo d'avere $B+mA=0$, il numero m sarà necessariamente una frazione positiva, e minore dell'unità. Questo numero m è la frazione 9/10 dell'esperienza citata. Considerando $-B$ che dissimula la porzione A' di A, ed essendo esattamente lo stesso il modo d'azione, avremo $A'+m\,B=0$. Se eliminiamo B da questa equazione, sostituendo il suo valore dedotto dall'altra, avremo $A' = m^2 A$, e quindi l'equazione $E = A - A'$ diventerà $E = (1 - m^2)A$, da cui

$$\frac{A}{E} = \frac{1}{1-m^2}.$$ È questo $\frac{A}{E}$ il rapporto

delle cariche elettriche che il piatto A acquista messo a contatto degli stessi conduttori elettrizzati *con* o *senza* l'influenza dell'altro piatto. Questo rapporto è per conseguenza la misura della accumulazione che in questo piatto può farsi, e che è espressa da

$\frac{1}{1-m^2}$. Supponiamo questo m eguale a 99/100, cioè che 100 parti d'elettricità positiva di A dissimulino 99 di negativa in B, e mettendo per m questo valore, avremo $\frac{1}{1-m^2} = 50$. Ciò che significa che sotto l'influenza del piatto B in comunicazione col suolo, il piatto A in contatto con una sorgente qualunque d'elettricità, prende 50 volte più d'elettricità di quella che potrebbe prendere senza la presenza di B.

Tutto si riduce adunque a determinare il valore della frazione m. Per determinarla si carica il piatto A di una quantità qualunque di elettricità, mentre è in presenza dell'altro che è in comunicazione col suolo: poi separati, si toccano nell'istesso punto della loro superficie con un piano di prova. La bilancia di torsione ci fa conoscere quale è per quel punto il rapporto della grossezza degli strati elettrici corrispondenti: e poichè abbiamo presi eguali i due piatti, dobbiamo prendere questo rapporto per quello delle loro quantità totali d'elettricità. Dividendo queste due quantità, cioè la minore per la maggiore, si avrà il valore di m, da cui quello di $\frac{1}{1-m^2}$. Risulta evidentemente da queste stesse formole, che quanto più m differisca meno dall'unità, cioè a dire quanto più si avvicinano all'eguaglianza le due quantità d'elettricità nei due piatti, tanto è più grande l'accumulazione. Infatti quando m fosse eguale

ad 1, $\frac{1}{1-m^2}$ prenderebbe un valore infinito, ciò che vorrebbe dire che non vi sarebbe limite per la quantità d'elettricità che possono accumularsi nei due piatti. S'intende però che corrispondentemente dovrebbe essere infinita la resistenza dello strato coibente interposto, e che questa resistenza non la otterremmo se non se con una certa grossezza dello strato medesimo, e quindi tenendo i piatti ad una certa distanza. Risulta infatti dall'esperienza, che in due piatti convenientemente disposti la capacità è prossimamente in ragione reciproca della distanza. Trovo io cotesto risultamento nel Trattato di Fisica dell'illustre Professor Belli.

La quantità assoluta d'elettricità accumulata dipende pure dal termine E che esprime la quantità d'elettricità di cui il piatto A si caricherebbe quando, senza la presenza di B, fosse messo in comunicazione della sorgente elettrica. Ora questa quantità aumenta coll'estensione della sua superficie, per cui sotto l'influenza del piatto B la sua capacità cresce prossimamente in ragione diretta semplice della estensione della sua superficie.

Una delle più importanti applicazioni di questi principî è quella del *Condensatore* fatta da Volta. Il condensatore (*Fig.* 98) non è altro che una *coppia* di piatti metallici tenuti separati o da uno strato d'aria, o da una vernice coibente di ceralacca, di

coppale ec. Il piatto messo in comunicazione colla sorgente *s* d' elettricità, chiamasi *piatto collettore* o *scudo*, e *condensatore* o *secondo piatto* l'altro che comunica col suolo. Il primo piatto è isolato con un manico coibente, e tolta la comunicazione colla sorgente si porta rapidamente all'elettroscopio. L'elettroscopio a foglie d'oro acquista una grande sensibilità se è munito di condensatore. A questo oggetto la pallina dell'elettroscopio è unita ad un piatto metallico verniciato, sopra il quale si posa un piatto simile (*Fig.* 98). Il primo piatto comunica colla sorgente, l'altro col suolo, ed è quando separo i due piatti che l'elettricità accumulata si rende libera e fa divergere le foglie d'oro dell'elettroscopio: si può anche mettere il piatto superiore in comunicazione colla sorgente, e l'altro unito all'elettroscopio in comunicazione col suolo. Allora si toglie prima questa seconda comunicazione, e poi si alza l'altro piatto. Se si applica quest'istrumento allo studio di sorgenti debolissime d'elettricità, convien dare una vernice estremamente sottile con una soluzione di gomma-lacca nell'alcool, o meglio nell' etere solforico: colla quale si giunge a darne una che non ha 1/10 di millimetro di grossezza, e che basta per questo caso. Con un istrumento così fatto, se si adoperasse una sorgente forte di elettricità, vi sarebbe presto una scarica attraverso lo strato coibente.

Quando si vogliono accumulare grandi quantità d'elettricità ricorrendo a forti sorgenti, convien tenere separati i due piatti metallici, uno dei quali comunica colla sorgente e l'altro col suolo, per mezzo d' una lastra coibente molto grossa. Si hanno così gli apparecchi famosi, conosciuti sotto il nome di *Quadro magico*, e di *Bottiglia di Leida*. La parte essenziale di questi strumenti consiste in una lamina di vetro di una certa grossezza, che nel quadro magico è piana, nella bottiglia di Leida (*Fig.* 92) ha la forma di una bottiglia o bicchiere *b*. Le due facce di questa lamina sono per la maggior parte rivestite di una sottil foglia metallica, che è ordinariamente di stagno. Si dà in genere il nome d'armatura a queste due foglie metalliche, e nella bottiglia si distingue l' *armatura esterna a* e l' *armatura interna e*. Essendo necessario che le due armature sieno separate l' una dall' altra per mezzo di uno strato della maggior coibenza possibile, si cuopre di una vernice di gomma-lacca tutta quella porzione *m n* di vetro che non è armata. Una verga metallica *a b* traversa il turacciolo, che è di legno verniciato, e termina nell' interno della bottiglia con una catenella, pur metallica, che si stende sull'armatura interna; all'esterno questa verga è ordinariamente ripiegata ad uncino, e terminata da una pallina. Possono darsi alla bottiglia di Leida e alle sue armature le forme le più variate. Adoperando delle boccce a collo molto stretto l' armatura interna si fa con ritagli metallici, con limatura di rame, con palline di piombo; qualche volta si adopera anche l' acqua pura, o meglio salsa perchè più conduttrice della prima. Queste bottiglie sono anche scelte qualche volta a bocca molto larga, e in questo caso riesce comodo di applicare sulla superficie interna la lamina di stagnola. Per caricare una bottiglia di Leida si tiene in mano la sua armatura esteriore perchè comunichi col suolo, e si mette la verga metallica che comunica coll' interna a contatto del conduttore della macchina elettrica. Si può ottenere lo stesso risultato posando la bottiglia sopra un conduttore in comunicazione col suolo. Qualunque sia questo modo di caricar la bottiglia, si riduce sempre a mettere in comunicazione una delle armature colla sorgente dell' elettricità, l' altra col suolo. È inutile che io qui vi dica in qual modo avviene l'accumulazione delle elettricità contrarie sulle due armature della lamina coibente armata, poichè il farlo non sarebbe che un ripetere quel che vi ho di già esposto descrivendovi il condensatore. Per la bottiglia, come per il condensatore, l'accumulazione dell' elettricità è data dal rapporto

$\frac{A}{E}$, in cui A rappresenta la carica totale dell'elettricità che prende la lamina a contatto della sorgente sotto l' influenza della carica di nome contrario, ed E la carica di questa lamina senza la presenza dell' elettricità contraria. Già abbiamo visto che questo rapporto era espresso dalla frazione

$$\frac{1}{1-m^2},$$

e che bastava per determinarlo, poter dedurre il valore *m* coll'esperienza, cioè il rapporto delle due quantità d'elettricità dissimulate nelle due armature. Ho detto che pel condensatore può ottenersi il valore di *m* toccando col piano di prova separatamente le due armature, e portandolo alla bilancia di Caulomb; ma questo processo adoperato per la bottiglia e per il quadro magico riesce malamente, accadendo in questi due apparecchi che la elettricità non rimane sulle armature metalliche. Vedremo più innanzi dove realmente risieda l' elettricità accumulata nei coibenti armati. Si ricorre adunque ad altri metodi volendo misurare

la carica elettrica di un coibente armato. La quale è sempre conosciuta, laddove si sappia la capacità del coibente armato e la tensione dell'elettricità comunicatagli. Si numerano quindi le scintille date dal conduttore della macchina, fatta agire in circostanze eguali, all'armatura interna della bottiglia, perchè un elettrometro a quadrante in comunicazione con questa segni una data tensione. Confrontando questi numeri di scintille eguali date a diversi coibenti armati per portarli alla stessa tensione, se ne deducono i rapporti delle loro capacità. Teniamo anche conto del numero dei giri fatti dal disco della macchina perchè la bottiglia acquisti un egual grado di tensione nella sua armatura interna. In generale può dirsi che la carica di un coibente per giungere alla stessa tensione è proporzionale al numero dei giri del disco, o al numero delle scintille date all' armatura interna.

Gli elementi dai quali dipende la carica totale di un coibente armato, o la quantità totale d'elettricità accumulata ad una data tensione sulle sue armature, riduconsi alla grossezza della lamina coibente, all' estensione delle armature, e all' attività più o meno grande della macchina che svolge l'elettricità. Sappiamo che la dissimulazione delle elettricità contrarie cresce al diminuire della grossezza delle lamina o strato coibente interposto alle due armature; e sappiamo pure che questa grossezza non può essere diminuita al di là di un certo limite. Conviene però conservare alle lamina coibente una tal grossezza che impedisca alle due elettricità che tiene separate, di romperla, di traversarla per combinarsi. Il mezzo che abbiamo per ottenere che in un coibente armato si accumulino grandi cariche elettriche, è quello di farlo in guisa che le sue armature sieno molto estese. A questo fine si riuniscono più bottiglie o più quadri magici in modo, che le loro armature comunichino insieme e formino un solo apparecchio. Si fa così, colla riunione di più bottiglie, la batteria elettrica (*Fig.* 95). Tutte le bottiglie di una batteria sono riunite in una specie di scatola vestita internamente di una foglia di stagno, che comunica col suolo per mezzo di una catenella; un solo conduttore metallico formato di diverse verghe saldate insieme, mette in comunicazione tutte le armature interne, ed è questo che comunica col conduttore della macchina elettrica. Dovrò parlarvi in altro luogo della attività della sorgente dell'elettricità. Ora quindi mi limiterò a dirvi che quanto più è estesa la superficie del cuscini che confricano il disco o cilindro di vetro della macchina, quanto più si fa girare con velocità, quanto più è asciutta l' aria ambiente, tanto più è grande la quantità d' elettricità che la macchina può fornire al coibente armato in un dato tempo. Ma finchè la macchina elettrica non elettrizza che il suo conduttore, presto si ottiene che il pendolino dell' elettrometro a quadrante fissatovi sopra, giunga ad una certa deviazione che non può oltrepassare per quanto si continui a farla agire. Si vede adunque sulle prime il pendolino indicatore innalzarsi a gradi a gradi, e dopo pochi istanti fissarsi ad una certa deviazione. E se a questo punto il movimento uniforme del disco della macchina continua a svolgere una quantità costante di elettricità, il contatto dell'aria rapiece nel tempo stesso una porzione di elettricità tanto maggiore, quanto più è grande la carica del conduttore. Si stabilisce così una perdita che compensa il guadagno che si fa dal conduttore; e a partire da quel momento, è tanta l'elettricità dissipata quanto quella che è svolta dal disco. Se però metto il conduttore della macchina in comunicazione con uno o più coibenti armati, m' accorgo presto che il pendolino indicatore s' innalza assai più lentamente, e la deviazione stabile che prende è di tanto minore, quanto più, a circostanze eguali, è grande la superficie del coibente armato. Il quale produce lo stesso effetto di una maggiore estensione che si dia alla superficie del conduttore; sicchè l' elettricità sviluppata dallo stesso disco fatto girare egualmente, deve distribuirsi sopra un conduttore molto più esteso, ed essere perciò nel tempo stesso di tanto più piccolo l'accrescimento della sua tensione. Per caricare una batteria o un coibente armato qualunque a superficie molto estesa, sarebbe necessaria una macchina assai potente; ma un artificio particolare ci mette in grado di servirci di una macchina ordinaria per la carica di una batteria. Si adatta dunque un uncino al fondo dell' armature esterna di ogni boccia, e si sospende la prima boccia al conduttore della macchina colla sua armatura interna, la seconda boccia si sospende coll' uncino della sua armatura interna all' uncino dell'armatura esterna della prima boccia, e così di seguito fino all'ultima, di cui l'armatura esterna si fa comunicare col suolo. Facendo agire la macchina, l'armatura interna della prima boccia si carica di elettricità positiva, e respinge dall' armatura esterna altra elettricità positiva, che entra nell'armatura interna della seconda bottiglia, e la carica, e così di seguito. Questa maniera di caricare le bocce che vedesi nella *Fig.* 96, im-

maginata da Franklin, chiamasi dai Francesi per *cascade*, e dal Beccaria per *cariche conseguenti*. Certo egli è però che queste diverse bocce non contengono le stesse quantità d'elettricità, e che le loro cariche decrescono progressivamente partendosi dalla boccia comunicante coi conduttore della macchina. Infatti sappiamo che dall'armatura esterna della prima boccia è respinta una quantità d'elettricità positiva minore di quelle introdotta nell'armatura interna; oltre di che questa elettricità respinta si disperde in parte, in parte si distribuisce sulla superficie dell'uncino e del conduttore dell'armatura interna della seconda boccia. Per queste stesse ragioni la carica della terza boccia è anche minore di quella della seconda, e così in seguito. A fine adunque di portare tutte queste bocce ad una stessa carica, si disfà la disposizione in cui sono, collocandole a mano a mano nella scatola di una batteria, poi si posa sul conduttori di tutte le armature interne un quadro di verghe metalliche che le riunisce insieme. Allora pochi giri della macchina bastano a completare la carica della batteria, quando almeno non sia molto grande il numero delle bocce.

Per tutto quello che abbiamo detto, s'intenderà facilmente che la carica di un dato coibente armato non può mai oltrepassare certi limiti. Insomma èvvi sempre una porzione di elettricità che si dissipa per il contatto dell'aria, che scorre sul vetro, vi si distende, che dall'armatura interna, in cui la tensione è maggiore, si scarica sull'esterna. Noi ci accorgiamo che la boccia è carica a saturazione, allo stridore che è mandato dall'elettricità nell'uscire dall'armatura interna. E non ci è meno palese il dissiparsi della elettricità della boccia pel contatto dell'aria e sulla superficie nuda del coibente quando la carica si arcoata al suo limite; perciocchè allora la scarica spontanea del coibente armato avviene con una scintilla eletrica che scorre sulla superficie nude del coibente stesso. La quale scarica spontanea si fa talvolta lentamente, e in singolar modo laddove il vetro non sia coperto di vernice. Posto che l'aria sia molto secca, buona la macchina, ben verniciata la porzione nuda del coibente armato, se si seguita a caricarlo, viene finalmente la scarica a traverso della sua grossezza. Sonosi perciò costruiti quadri magici con lamine di mica, le quali hanno su quelle di vetro il vantaggio di resistere fortemente al passaggio dell'elettricità, e di non lasciarsi traforare. A fine d'impedire in gran parte la dissipazione dell'elettricità, Cavallo immaginò di chiudere nel collo della bottiglia un tubo di vetro che giungesse sino al suo fondo, e vestito internamente di stagnola nella sua metà inferiore: la verga metallica terminata esternamente colla solita pallina è fissa nel tubo, ma non giunge a toccare la stagnola. Entro il tubo evvi un filo di metallo libero che tocca l'armatura interna, ma non così lungo che arrivi a toccare l'estremità della verga metallica. Volendo caricare la boccia, pigliasi colla mano nella sua armatura esteriore e si capovolge; con che il filo metallico chiuso nel tubo scende, va a toccare la verga metallica, e stabilisce così la comunicazione coll'interno. Tornando poi la boccia nella sua posizione naturale, il filo del tubo ricade nel fondo del medesimo, e la verga rimane separata per un lungo tratto di vetro dall'armatura interna. Così la sua elettricità può difficilmente dissiparsi, e scorrere, come fa nelle bocce ordinarie, sulla superficie del coibente per mezzo della verga, dall'armatura interna all'esterna.

Quando si vuole direttamente scaricare una boccia o una batteria, si adopera un arco metallico terminato con due palline, e si dispone in modo che una delle sue estremità tocchi l'armatura esterna, e l'altra vada presso un punto qualunque del quadro di verghe metalliche che comunicano coll'armatura interna. Operando in questa guisa, si ha una scintilla più o meno lunga, più o meno viva, secondo che la carica è più o meno forte. L'arco metallico adoperato a quest'oggetto chiamasi *scaricatore*. D'ordinario quest'arco è articolato (*Fig.* 108) nel mezzo, ed ha due manichi di vetro presso la snodatura; per cui è impedito alla elettricità di scarirarsi fuori di lui.

Può anche scaricarsi la bottiglia in un modo lento, che è quello stesso che abbiam descritto parlando del condensatore. Si ha perciò una boccia (*Fig.* 107) di Leida, che dopo averla caricata, si colloca sopra un piano di legno sostenuto da quattro piedi di vetro. Sopra questo piano s'innalza una colonna metallica che comunica colla superficie esterna, e termina allo stesso livello della verga dell'armatura interna. Tanto questa verga, quanto la colonna metallica, portano una callotta di bronzo. Una pallina metallica sospesa ad un filo di seta è collocata in mezzo a queste due callotte cariche dell'elettricità contrarie delle due armature. La pallina è necessariamente costretta ad oscillare fra le due callotte, e produca uno scampanio che dura qualche volta per molte ore, secondo la carica della boccia e lo stato più o men secco dell'atmosfera. Se la due callotte sono munite di un doppio pendolino, si vede, nell'istante che la pal-

lina tocca una callotta, abbassarsi il pendolino rhe v'è unito, e alzarsi quello dell'altra callotta. Si può anrhe ottenere questa scarica lenta, toccando successivamente or l'una or l'altra callotta. Ad ogni contatto se ne cava una piccola scintilla, e si vede anche in questo caso abbassarsi il pendolino della callotta toccata, e alzarsi contemporaneamente quello dell'altra, e così in seguito.

Se si termina l'arco scariratore con due punte e poi s'avvicina con queste, anche ad una certa distanza, all'armatura interna ed esterna di una boccia rarica, presto succede la scarica. La qual maniera di scaricare la bottiglia s'intende di leggieri ove si richiami alla memoria la teoria delle punte. Cotesta scarica si fa senza scintilla, e in silenzio; e solo operando nella oscurità si possono vedere sulle due punte le tracce delle due elettricità, che si srarìcano per l'arco intermedio.

In generale può dirsi che la scarica dei coibenti armati è modificata da una serie di circostanze, quali sono la natura dell'arco, le sue dimensioni, la durata del contatto dell'arco colle armature, il grado di carira ec. Tutte queste cirrostanze verranno studiate, quando avremo compiuto la teoria dell'elettricità latente o dissimulata, ed esaminate le sue applirazioni.

Ora mi conviene parlarvi di un fatto importante che accompagna la scarira di un coibente, posriachè per esso siamo condotti a determinare quale è la parte che il coibente e le sue armature hanno nel caricarsi e nello scaricarsi delle due elettricità accumulate. Se si carica una boccia, p. es. una di quelle costrutte col metodo di Cavallo, ad un grado determinato dall'elettroscopio quadrante in comunicazione colla sua armatura interna, e poi si lasria anche ottimamente isolata, quantunque sia essa in mezzo ad un'aria molto secca, mostra di scaricarsi rapidamente. Non è per altro vero che la boccia siasi scaricata, ed anzi è pochissima la scarira avvenuta. Ma ciò che fa maraviglia si è, che scaricandola rapidamente dopo aver lasciato diminuire fino ad un certo grado la carica, indi a non molto ricompare di nuovo caricata, e l'elettroscopio risale. Ora per ispiegare questo *occultamento della cariche*, bisogna ammettere che una porzione dell'elettricità delle armature si spanda sulla superficie nuda del coibente. Così le due elettricità accumulate sulle due facce armate si estendono, senza riunirsi, sopra una maggior superficie, e deve perciò abbassarsi l'elettroscopio. Caricando piccole bocce con una macchina piuttosto buona, si comincia presto a sentire il sibilo delle piccole scintille, le quali a poco a poco crescono tanto da saltare da un'armatura all'altra e da produrre la scarica. Sembra però che questo ocrultamento debba in parte attribuirsi ad una sperie di penetrazione delle due contrarie elettricità nella sostanza del coibente. Il fatto è che con un sol contatto istantaneo dell'arco scaricatore non si giunge mai a scaricare completamente un coibente armato, e rhe un tal fenomeno si verifica specialmente colle grandi bocce. Si ha quindi una seconda, una terza e anche più scintille sempre più piccole, rinnovando i contatti coll'arco scaricatore: e quanto più quest'arco è lungo e cattivo conduttore, tanto più sono grandi questi *residui* delle srariche dei coibenti. I quali fatti tendono a provarci, rhe le cariche elettriche non sono totalmente sparse sulle armature metalliche della boccia: ed in vero, che dove così non fosse non proverebbesi tanta difficoltà a scaricarla affatto. Ma viene altresì una diretta sperienza a confermarci rhe la sede della elettricità non è nelle armature metalliche. Osservate questo quadro magico che costruisco in un modo provvisorio applicando due dischi di stagnola sopra le due facce di una lamina di vetro. Fo comunicare per mezzo d'una catenella un'armatura col suolo, e l'altra colla macchina. Dopo pochi giri trovo il quadro fortemente cariro, e toccandone le due armature coll'arco sraricatore ne ho una forte scintilla. Lo ricarico di nuovo fortemente, e mentre è così carico, interrompo le sue comunicazioni col suolo e colla stagnola; poi distacco separatamente le due armature, mettendole perciò nel caso di perdere qualunque carica elettrica che potessero contenere. Rimetto di nuovo le due armature sulle due facce della lamina di vetro, e precisamente nello stesso posto che occupavano prima, e trovo che il quadro magico così rifatto, mi dà ancora una scarica assai forte. Se fo questa stessa esperienza con una boccia di Leida (*Fig.* 92), di cui le armature *a* e *c* sono mobili, trovo anche con questa che le due armature metalliche posson distaccarsi dal coibente, senza che per ciò si distruggano le due elettricità arcumulate sul vetro. Un eguale risultamento si avrà servendosi di acqua, di palline di piombo, di pezzetti di metallo, per armatura interna della bottiglia: caricata che sia, si vuota dalla sostanza conduttrice che ne forma l'armatura interna, e questa raccolta, appena trovasi elettrizzata. Rimessa di nuovo l'armatura, versandovi allora o l'acqua tolta o *altra qual che si sia*, la bottiglia è carica, come se non fosse stata toccata. Adunque la maggior

parte dell' elettricità dei coibenti armati si raccoglie sulle due superficie del vetro; e solo nelle cariche molto deboli si trova che una parte dell'elettricità si arresta sulle armature. Ma se così succede, come non è da dubitare, quale sarà l' ufficio delle armature? Anche questo ve lo mostrerà l'esperienza. Provate a toccare coll' arco scaricatore le due facce del coibente caricato e cui furono tolte le armature: appena avrete segno sensibile di scarica, e dopo questo tentativo potrete rimettere le armature e aver la scarica. Servono dunque le armature, tanto per la carica che per la scarica del coibente, a rimediare alla sua cattiva conducibilità. Se voi toccate con una lastra di vetro, di resina, di zolfo un conduttore elettrizzato, non è mai che sul punto toccato del coibente o a ben piccola distanza da questo, che l' elettricità si comunica. Due cariche d' elettricità contrarie possono fissarsi sulla superficie di un coibente a poca distanza, senza che per questo si riuniscano, e vengano a neutralizzarsi. Al quale proposito abbiamo un'esperienza curiosa di Leichtemberg, per la quale è provata assai bene la resistenza che oppongono i corpi coibenti al movimento dell'elettricità. Piglio colla mano una bottiglia carica, e segno col bottone dell'armatura interna una linea sopra un piano di resina; poi poso la stessa bottiglia sopra un isolatore, prendo colla mano il bottone dell' armatura interna, e segno coll' armatura esterna un' altra linea sul piano di resina presso a quella fatta coll' armatura interna. Perchè possiate vedere le tracce distinte delle due elettricità positiva e negativa dell' armatura interna ed esterna della boccia, fo cadere sul piano di resina un mescuglio di due polveri, di minio e di zolfo, spinte fuori insieme da una specie di soffietto di velo di seta, e perciò elettrizzato, il minio positivamente, lo zolfo negativamente. Cadute queste due polveri mescolate sul piano di resina su cui ho tracciate le due linee colle due armature, si separano fra loro, e la traccia dell'armatura interna elettrizzata positivamente si copre della polvere gialla dello zolfo, che è negativo; l'altra fatta coll'armatura esterna negativa si copre di minio, che è positivo. Le prime linee, quelle che sono dovute all'elettricità positiva, son ramificate; le seconde son fatte di tanti circoli riuniti, o specie di coroncine. Ed è ben degna di osservazione cotesta differenza delle tracce lasciate dalle due elettricità nel distendersi sui corpi cattivi conduttori, e rappresentate dalle polveri.

Da queste difficoltà pertanto che l' elettricità incontra a muoversi sulle sostanze coibenti, vedesi presto l'ufficio delle armature metalliche. Appena un punto di queste è elettrizzato lo è pure tutta la loro superficie e quindi anche tutti i punti toccati della lamina coibente: così da tutti i punti dell'armatura esterna si muove l'elettricità sviluppata per influenza a fine di spandersi sul suolo. Collo stesso ragionamento s' intende come servono le armature nella scarica: senza di queste l' elettricità non abbandonerebbe che i due soli punti toccati direttamente dallo scaricatore; colle armature parte all'istante da tutti i punti.

Devo descrivervi ancora un apparecchio immaginato dal Volta, e che è fondato sui principi del condensatore e della boccia. Consiste questo istrumento (*Fig.* 94) in un piatto metallico A B circolare fornito di un orlo, e nel quale si cola un miscuglio di tre parti di trementina, due di pece greca, ed una di cera. Invece di questo miscuglio potrebbe adoperarsi dello zolfo, della gomma-lacca, o qualunque altra sostanza coibente. Questo strato, che dicesi *mastice* o *stiacciata*, forma il pezzo inferiore dell' istrumento. Vi è in oltre una lamina metallica C D circolare, alquanto più stretta della stiacciata, e che ha un manico isolatore F E di vetro, o è sostenuta da tre fili di seta riuniti. Questo secondo pezzo si dice *scudo*. Per servirsi di questo istrumento si comincia dallo strofinare con un pezzo di flanella o con una coda di volpe la stiacciata, durante il quale strofinamento importa assai che il piatto sia in comunicazione col suolo. Elettrizzato così il mastice negativamente, vi si posa sopra lo scudo tenuto pel manico isolatore, si tocca indi nello stesso tempo con due dita di una mano l'orlo del piatto e lo scudo, e fatto questo contatto si alza lo scudo tenendolo isolato. Si trova allora lo scudo carico di elettricità positiva. Questa operazione può ripetersi un gran numero di volte, e sempre collo stesso risultato. Il mastice una volta elettrizzato conserva per mesi e mesi la sua carica: e per questa facoltà appunto il Volta diede il nome di *elettroforo* a un tale istrumento. Conservasi per così lungo tempo questa carica del mastice anche a contatto dello scudo, per più ragioni. E prima perchè sono sempre pochi i punti di vero contatto fra lo scudo e il mastice, e la difficoltà che abbiam visto provare l'elettricità nel muoversi sui corpi coibenti, fa sì che non vi si diffonda che in una porzione assai piccola. E poi anche viepiù ritenuta questa carica del mastice dalla carica positiva che si raccoglie per influenza nel piatto inferiore. Eccovi adunque la teoria dell' elettroforo. Lo scudo posato sul mastice si elettrizza per influenza; l'e-

lettricità positiva si porta presso il mastice, la negativa è respinta, ed è perciò che quando colla mano si fa arco fra lo scudo e l'orlo del piatto inferiore, vi è sempre una scarica. Si toglie con questo contatto la carica negativa dello scudo e la positiva del piatto, e in tal modo si rende più forte l'azione della carica negativa del mastice sull'elettricità contraria dello scudo. Non toccando nello stesso tempo lo scudo e il piatto, rimarrebbe in quest'ultimo una carica d'elettricità positiva, che impedirebbe l'accumulazione della stessa elettricità sulla faccia dello scudo a contatto del mastice. Le difficoltà che incontrano a dissiparsi, devesi in gran parte attribuire alla natura dissimulata delle due cariche nello scudo e sul mastice. Dando a questo strumento delle dimensioni assai grandi, può servire come una macchina elettrica. Così l'elettroforo è uno degli strumenti più utili per le ricerche elettriche; per lui si può avere di seguito un gran numero di scintille che si considerano atte a somministrare delle quantità costanti di elettricità. Un tale istrumento si è applicato alla costruzione di un accendilume. Vedremo più innanzi che il gas idrogene si combina all'ossigene dell'aria allorchè è traversato il miscuglio dei due gas da una scintilla; l'idrogene per conseguenza in questo caso s'accende. L'apparecchio è disposto in modo, che una scintilla prodotta all'alzarsi dello scudo di un elettroforo ha luogo nell'istesso tempo che il getto del gas idrogene si fa escire dal recipiente in cui è raccolto.

Compiuta così l'esposizione dei fenomeni principali dell'elettricità statica, delle leggi con cui si distribuisce in equilibrio sulla superficie dei corpi, e soprattutto della sua azione o influenza sui corpi allo stato naturale, dovrei passare allo studio di quei fenomeni che accompagnano il ristabilimento all'equilibrio delle cariche d'elettricità contraria, o a ciò che dicesi *scarica elettrica*. Se non che prima di farlo mi è duopo darvi un cenno delle sperienze di Faraday sull'influenza elettrica. Il modo interamente nuovo con cui, dopo le scoperte del celebre Fisico inglese, dobbiamo rappresentarci i fenomeni dell'induzione, ci servirà di guida nel passare da questi a quelli dell'elettricità in movimento. Sin qui non abbiamo visto nel fenomeno dell'influenza che un'azione diretta esercitata in distanza dall'elettricità libera sopra quella dei corpi allo stato naturale. Ora le scoperte di Faraday hanno messo fuori di dubbio che lo sviluppo dell'elettricità per influenza non ha mai luogo senza una *modificazione elettrica* portata nei corpi coibenti posti fra il corpo elettrizzato e quello che è sottoposto alla sua influenza. Le prove con che Faraday conferma questo principio sono della più alta importanza. Ha egli adunque dimostrato coll'esperienza, che l'azione induttiva ha luogo in direzioni non rettilinee; ciò che non può spiegarsi senza ammettere, che le molecole del corpo interposto la trasmettono in tutti i sensi. Dopo aver provato che un disco metallico di una certa grossezza, posato sopra un bastone di ceralacca elettrizzato distruggeva qualunque influenza elettrica nei punti corrispondenti al suo centro, Faraday ha trovato che questa influenza sussisteva nei punti laterali, e al di sopra di essi: e poichè l'influenza non ha luogo attraverso al metallo, è forza ammettere che si diffonde, come dice Faraday, in linee curve, o, a meglio dire, per le molecole contigue dell'aria. Un'altra esperienza anche più concludente si è questa. Si collochi sopra un piede di legno un cilindro, terminato superiormente da una cavità destinata a contenere una palla metallica di un pollice di diametro. Si elettrizzi la parte superiore del cilindro di gomma-lacca confricandolo con una flanella calda, e vi si collochi sopra la palla: se allora si porta a contatto dei diversi punti del cilindro o della palla, e sopra e sotto di questa, la pallina mobile della bilancia di Coulomb, mettendo nell'istante del contatto i due corpi in comunicazione col suolo, si trova che la pallina separata, e portata col suo manico isolatore nella bilancia, ha acquistato, di certo per induzione, dell'elettricità positiva contraria a quella della gomma-lacca. Queste cariche d'induzione che prende la pallina mobile della bilancia toccando in diversi punti la palla posta sopra il cilindro hanno una diversa intensità; ma è sempre vero che pei punti superiori della palla, l'elettricità acquistata dalla pallina mobile è dovuta all'induzione esercitatasi in linee curve per le molecole contigue dell'aria.

Ma un'altra maggior prova di questo modo di considerare l'induzione elettrica è trovata giustamente da Faraday nella scoperta della proprietà che egli chiama *capacità specifica d'induzione dei corpi*. L'apparecchio che Faraday adopera per dimostrare che questa proprietà ad indurre è varia nei diversi coibenti, consiste in tre piatti circolari di metallo isolati, e tutti disposti alla stessa altezza. Si comincia dal disporre il piatto intermedio ad eguai distanza dai laterali, e, comunicata una certa elettricità a questo piatto, si determina sui due piatti laterali l'intensità dell'elettricità che vi sviluppata per influenza. Sinchè tutto

è simmetrico, ed eguale da una parte e dall'altra, non v'è alcuna differenza nella carica d'influenza che ha elettrizzato i due piatti. Ma se fra il piatto intermedio e uno dei laterali si frappone una lamina di zolfo, di resina, di vetro, di ceralacca, all'istante appariscono alcune differenze, e si trova che l'influenza è maggiore sul piatto separato dall'intermedio con questi corpi, di quello che non è per l'altro piatto separato dallo strato d'aria. Così Faraday ha potuto scoprire che la gomma-lacca serve meglio dell'aria allo sviluppo dell'elettricità per influenza nel rapporto di 2 ad 1, il flint glass nel rapporto di 1,76 ad 1, lo zolfo nel rapporto di 2,24 ad 1. Se dunque fra un corpo elettrizzato ed uno che non lo è s'interpone uno strato di gomma lacca in luogo di uno strato d'aria, la quantità d'elettricità sviluppata per influenza sul corpo non elettrizzato è doppia quando vi è lo strato di gomma-lacca, di quello che è quando vi si lascia lo strato d'aria. Faraday chiama giustamente l'apparecchio che abbiam descritto *induzionometro differenziale*. Il Belli, nell'opera già citata, descrive alcune esperienze, per le quali è chiaro che questo distinto Fisico è giunto a risultati non molto diversi da quelli di Faraday.

Se in luogo dell'aria atmosferica si adoperino altri gas, facendo variare la loro densità e la loro temperatura, non si trova alcuna differenza nella loro capacità specifica d'induzione. Il qual risultato ci mostra, che la proprietà dell'aria o dei diversi gas a trasmettere l'induzione è indipendente dalla diversa resistenza che es si proporzionalmente alla densità loro presentano nel ritenere sulla superficie dei corpi cariche elettriche proporzionalmente maggiori.

Un altro risultato ottenuto da Faraday, e che merita di esser qui citato, è quello del niun valore che ha sullo sviluppo dell'elettricità per influenza, la grossezza del corpo conduttore sul quale questo sviluppo succede. Una foglia d'oro esposta in distanza all'azione di un corpo elettrizzato acquista sulle due facce stati elettrici contrarî. All'incontro la grossezza del corpo interposto fra il corpo elettrizzato e quello che lo è per induzione, ha una gran parte sulla quantità d'elettricità che è così sviluppata.

Dopo queste scoperte di Faraday bisogna considerare l'induzione in ben diverso modo da quello tenuto fin qui: è dessa un fatto al quale prende parte il corpo coibente fra cui s'opera, non per la sola distanza alla quale tiene i corpi che la producono e la subiscono, ma per l'azione altresì trasmessa per mezzo delle sue parti contigue: per un certo stato di *polarizzazione* elettrica delle sue molecole.

Molto vi ho intertenuti sopra l'azione dell'elettricità a distanza, perchè avremo occasione di ricorrere costantemente al principio d'induzione, che è il fatto più generale di tutti i fenomeni elettrici. E di vero non evvi carica senza di lei, non sviluppo d'elettricità, non produzione di corrente elettrica.

LEZIONI XL, XLI e XLII.

Scarica elettrica. — Velocità con cui questa si propaga nei buoni conduttori. — Idee generali sulla conducibilità, e sulla scarica. — Effetti della scarica.

Veduto come si sviluppano sui corpi stati elettrici contrarî, per quali azioni questi stati possono reciprocamente rinforzarsi, e reagire l'uno sull'altro; dobbiamo farci ad esaminare, come da questo stato ripassino i corpi allo stato naturale, quali fenomeni accompagnino il riunirsi delle elettricità contrarie, in una parola in che consista, come avvenga, quali siano gli effetti della scarica elettrica.

Tutti i fenomeni elettrici che furono fin qui soggetto del nostro studio; tutti quelli de' quali discorreremo più innanzi, ci provano che non v'è mai scarica elettrica fra due corpi senza che nei loro punti più vicini, in quelli nei quali accade la scarica, vi siano precedentemente degli stati elettrici contrarî. Partendo dal fatto delle due palline di sambuco, elettrizzate l'una colla resina, l'altra col vetro confricato, che si corrono contro, si toccano, si rimettono allo stato naturale, e venendo fino alle scariche le più grandi che si possano immaginare, sempre si trova la condizione essenziale di cotesto fenomeno nello stato elettrico contrario de' corpi fra cui la scarica succede. Già vedete sin d'ora come il principio dell'induzione interviene nei fenomeni della scarica: insomma lo stato d'induzione la precede; cessare l'induzione ed accadere la scarica sono una cosa sola.

Ma in che consiste la scarica elettrica? Sin dal primo giorno che io vi parlai d'elettricità, vi feci vedere quanto erano variati gli effetti d'una scarica elettrica. Vi mostrai che riscaldava i corpi per cui si faceva, che

traversando l' arie svolgeva luce e calore, che agiva in un modo determinato sulla calamita, destava grandi contrazioni nelle membra di un animale, scomponeva i corpi. Tutti questi effetti che in un modo più o men bene distinto appartengono alla scarica elettrica, tutti egualmente ci provano che questa scarica è costituita da un momentaneo disequilibrio dell' elettricità naturale, nato in egual grado in tutte le molecole del corpo per cui la scarica avviene. E di vero se si fa questa per un filo metallico, tutto il filo si scalda egualmente, tutto s' abbrucia se la scarica è convenientemente forte; se l' arco scaricatore si compone di una catena di animali, di rane scorticate, tutte ad un tempo le vedete agitarsi: in somma in ogni caso si opera la stessa modificazione per tutti i punti del corpo per il quale la scarica si propaga.

Quale è la velocità con cui si trasmette questo molecolare disequilibrio elettrico che costituisce la scarica? Prendo una bottiglia carica, a toccandone, al solito, l'armatura interna e l'esterna con un corpo qualunque, produco la scarica, diselettrizzo la bottiglia. Questo fenomeno però non avviene in tutti i casi egualmente; perchè s'io toccherò per lo stesso intervallo di tempo una bottiglia egualmente carica o con un arco fatto di un grosso filo metallico, o se per formar l'arco mi varrò di legno, di carbone, di un panno inzuppato d' acqua, non avrò con ciascuno di cotali archi un eguale resultamento; e la scarica sarà compiuta coll'arco metallico, e tanto meno lo sarà cogli altri, quanto è minore la loro *conducibilità*. Si era ammesso sin qui che nei corpi buoni conduttori la scarica elettrica si propagava con una velocità infinita: e per vero che parea venisse a confermarlo l' esperienza del Dott. Watson. Egli preparò, in compagnia di altri Fisici, un filo di ferro ripiegato in vari giri, e della lunghezza di 11519 piedi francesi; uno dei capi del filo comunicava coll'armatura esterna di una boccia, e l'altro poteva portarsi all' armatura interna. Nel mezzo della sua lunghezza era il filo interrotto, ed i due capi dell' interruzione erano tenuti uno per ciascuna mano da una persona posta nella stessa stanza in cui si scaricava la boccia. Si rinnovò la scarica più volte, e non fu mai possibile di scorgere nessuna differenza di tempo fra l'istante in cui si vedeva scoccare la scintilla e quello della scossa: laonde convenne conchiudere, che il movimento elettrico costituente la scarica si propaga per un filo metallico lungo 11519 piedi, in un intervallo di tempo non apprezzabile dai sensi. Le recenti esperienze però di Wheatstone hanno esteso assai le nostre cognizioni su questo proposito. Non vi parlerò ora dei processi ingegnosi, con cui è giunto questo Fisico a valutare la durata della scintilla elettrica e mi limiterò per ora ad esporvi i risultati da lui ottenuti, affine di determinare la velocità con cui si propaga la scarica elettrica in un filo metallico. L'istrumento principale nell'esperienze di Wheatstone è una larga lamina d'acciaio (*Fig.* 104) pulita sulle sue due facce a modo da formare un doppio specchio, mobile intorno ad un asse verticale parallelo ai due piani riflettenti, e fissato nel mezzo della grossezza della lastra. Un meccanismo conveniente imprime allo specchio un movimento di rotazione, e permette di contare il numero delle rivoluzioni che fa in un dato tempo: supponiamo che questa velocità sia regolata a modo da far descrivere allo specchio 50 rivoluzioni in un secondo. L' immagine di un punto luminoso fisso, osservata nel doppio specchio mobile costituito dalla lastra d'acciaio, dovrà descrivere ad ogni mezza rivoluzione una circonferenza di circolo orizzontale avente il suo centro nell'asse di rotazione, e di cui il raggio è la distanza che separa quest' asse dal punto luminoso. Se si pone che questa distanza sia di 4 metri, e se la velocità di rotazione è quella che abbiamo supposto, l'immagine descriverà in un minuto secondo cento circonferenze di 4 metri di raggio, ossia ogni arco di mezzo grado avente tre centimetri e mezzo di lunghezza sarà percorso in 1/72000*ma* parte di un secondo. Immaginiamo ora che il fenomeno luminoso osservato per riflessione sullo specchio mobile sia composto di tre scintille elettriche (*Fig.* 104) ottenute in tre interruzioni *a*, *b*, *c*, praticate in un filo di rame grosso un quinto di pollice, lungo mezzo miglio inglese, e disposta sopra una stessa linea verticale. È assai facile di comprendere la disposizione dell'esperimento. Una bottiglia di Leida comunica colla sua armatura interna col conduttore della macchina; uno dei capi del filo è a poca distanza dal bottone metallico dell' armatura interna, e l'altro comunica coll' armatura esterna. Due interruzioni del filo sono disposte l'una presso l'armatura interna, l'altra presso l' esterna. La terza interruzione *b*, che sta in mezzo a queste due, è collocata in mezzo alla lunghezza del filo, ciò che può farsi agevolmente facendo fare al filo diversi giri, e tenendolo sempre isolato. Comunicando dell' elettricità alla bottiglia, questa di tanto in tanto si scarica spontaneamente, e si hanno così tre scintille che son rappresentate sullo specchio come i tre grossi punti I; nell' esperienza di Wheatsto-

ne le scintille avevano un decimo di pollice di lunghezza. Comunicando allo specchio un movimento di rotazione tale da fare 800 rivoluzioni in un secondo, le immagini delle scintille osservate sullo specchio, in luogo di essere tre grossi punti lucidi, sono 3 lineette luminose, le quali, allorchè lo specchio ruota verso la sua dritta assumono la disposizione *a* , quando lo specchio ruota a sinistra le linee hanno l'apparenza *b* . In nessun caso son disposte come queste *a'* , *b'* .

Vedremo più innanzi come in questo esperimento, invece di punti luminosi si abbiano delle linee; e qui accennerò soltanto doversi il fenomeno alla durata delle scintille, trovata in questo caso di $^1/_{24000}$ di secondo. Chiamerò eziandio la vostra attenzione sulla non corrispondenza della linea luminosa intermedia colle altre due. Ricordiamoci che questa linea è prodotta dalla scintilla che salta l'interruzione praticata al mezzo della lunghezza del filo, e lo spostamento suo rispetto alle altre due, patito pel rotare delle due facce dello specchio, non può accadere senza che v'abbia un ritardo fra lei e le due che succedono contemporanee nelle interruzioni dei due capi del filo. Fatti gli opportuni calcoli, trovò Wheatstone che pel ritardo di quella scintilla, rispetto alle altre due, non maggiore di un milionesimo di secondo, doveva conchiudersi che il movimento costituente la scarica elettrica si propagava dai due estremi del filo alla parte media, con una velocità non minore di 250 mila miglia inglesi per secondo, ossia maggiore di quella della luce negli spazi planetari. Da tale esperienza si deduce altresì che il movimento, o disequilibrio elettrico nell'arco scaricatore della bottiglia, si propaga con eguale velocità dai due estremi del filo e raggiunge il mezzo. E infatti se così non fosse, vedrebbersi le linee disposte come nelle figure *a'*, *b'* che abbiamo disegnate sopra.

I resultati di queste esperienze sono della più alta importanza. Ma non lascerò già fuggire questa occasione senza mostrarvi le conseguenze tutte che si cavarono dagli sperimenti di Wheatstone, le quali sono di un'alta importanza. Torniamo adunque alla sperienza or ora descritta. Se ad un filo di rame intermedio si sostituisce un filo di ferro e di platino, che sono assai più cattivi conduttori del rame, la scintilla di mezzo sarà anche più ritardata di quel che non è nella citata esperienza. Un tubo di vetro pieno d'acqua, usato in luogo del ferro, ritarderà maggiormente la scintilla; e sarà anche più ritardata mettendo in luogo dell'acqua il grasso di balena. I quali diversi effetti ci mettono sulla via di seguire l'isolamento, partendo dai corpi i più cattivi conduttori sino ai metalli.

L'isolamento e la conducibilità non posson più considerarsi separate: la resistenza trovata nel filo di rame alla propagazione della scarica elettrica è un effetto analogo a quello, che, in maggior grado, mostrano i corpi coibenti. E non passeremo oltre senza farvi notare che la proprietà d'induzione, quella di propagare, di condurre la scarica, non posson riguardarsi che come i gradi estremi di una comune condizione. Il grasso di balena che ha una grande capacità induttiva, ha una cattiva conducibilità; conduce però in un certo grado, ed in tutti i corpi che chiamiamo coibenti possiam seguire questa loro proprietà di condurre rappresentata da distinti fenomeni d'induzione. In quei corpi in cui l'induzione si opera fra le parti le più vicine, in cui le tensioni elettriche sviluppate per induzione sono assai deboli, l'induzione non dura che poco, la scarica si propaga facilmente: e così accade ne' buoni conduttori. Queste idee ci conducono a rappresentarci la propagazione del disequilibrio elettrico costituente la scarica, in un modo analogo a quello con cui abbiamo visto trasmettersi il moto in una serie di palle d'avorio, o propagarsi il suono per l'aria pei corpi liquidi e solidi: in questo stesso modo vedremo propagarsi *la luce*. Anzi in tal proposito aggiungo non esservi in natura esempio di propagazione, la quale quantunque rapida quanto quella trovata per l'elettricità nei corpi conduttori, non si faccia in uno dei modi che abbiamo detto. Un effettivo trasporto di ciò che s'*immagina* essere l'elettricità, come facilmente si è indotti a credere nella teoria di Franklin, è inconciliabile con tutte le analogie che la scienza ci offre, e l'esperienza di Wheatstone parmi ce lo confermi chiaramente. Un trasporto di elettricità dall'armatura interna o carica in eccesso all'esterna o carica in difetto, avrebbe di certo dovuto produrre dei ritardi successivi sempre maggiori nelle scintille dalla prima all'ultima interruzione, come nelle figure *a'* e *b'*, e non mai il ritardo maggiore per quella dell'interruzione del mezzo. Qualunque sia l'idea che possiamo farci dell'elettricità, e dei due diversi stati della medesima, un corpo per cui si propaga una scarica elettrica dobbiamo figurarcelo con tutte le sue molecole progressivamente elettrizzate per induzione, nelle quali poi progressivamente queste cariche d'induzione vengono distrutte. La continuazione di questi stati elettrici molecolari è la *corrente* elettrica. Vedremo più innanzi come questa ipotesi

spieghi il maggior numero de'fenomeni elettro-dinamici; ed il già detto ci basti a sapere qual valore debbiamo dare alla parola *corrente elettrica* generalmente adottata. Vi sono nelle scienze certe espressioni, le quali convien conservare malgrado le false idee che facilmente vi si possono associare; ond'è sempre necessario stabilirne il giusto valore prima di adoperarle.

Passiamo a vedere come le scoperte di Faraday e il suo modo generale di considerare l'induzione, servano meglio di ogni altra ipotesi a rappresentarci la scarica elettrica. Tutto il principio di Faraday si fonda sulla sua scoperta della continuità d'azione elettrica operata fra due corpi per mezzo del corpo coibente intermedio: molto è certamente l'aver provato che queste azioni non si esercitano direttamente a grandi distanze: tuttavolta ci rimane ancora un passo a fare, posciachè le molecole stesse dei corpi coibenti non si toccano, come non si toccano quelle di tutti i corpi; laonde si dovrebbe altresì ammettere un'azione esercitata alla distanza che esiste fra le molecole dei corpi, quando non si volesse ricorrere ad altra ipotesi, che crediamo bene di sopprimere.

Ora che ci siamo fatta un'idea abbastanza giusta del modo generale con cui dobbiamo considerare la scarica elettrica, è bene che entriamo in più minuti particolari sulle circostanze che fanno variare la durata della scarica. Già vedemmo che anche nei corpi buoni conduttori, nei metalli, l'elettricità incontra una certa resistenza a propagarsi e che questa resistenza cresceva colla lunghezza. Una cotale influenza della lunghezza appare maggiormente nei corpi non buoni conduttori. Trovasi pure che la durata della scarica di una data quantità di elettricità è pure accresciuta diminuendo l'ampiezza trasversale del corpo per cui si propaga. Il che costituirebbe un soggetto importante di ricerche: infatti noi ignoriamo ancora, se la scarica della elettricità si faccia per la superficie dell'arco, o per la sua massa.

Vorrebbesi adunque far ronfronto della facoltà di scaricare in uno stesso corpo avente lo stesso diametro, e adoperato ora vuoto ora pieno. Vedremo, parlando della corrente elettrica, che in simil caso l'elettricità si diffonde per tutta la massa. Harris ha osservato che scaricando con un filo di platino una boccia, una gran parte dell'elettricità passava per l'aria, allorchè questa era rarefatta. Dalla quale esperienza potrebbe dedursi, che nella scarica elettrica una gran parte almeno dell'elettricità scorre sulla superficie del corpo scaricatore.

Lasciando costanti le condizioni dell'arco per cui la scarica si fa, s'intende facilmente che la durata della scarica deve variare colla grandezza della carica elettrica.

Dovrei parlare infine della diversa conducibilità dei corpi, essendo questa la circostanza che fa maggiormente variare la durata della scarica: se non che le nostre cognizioni sopra tal soggetto sono assai incerte. Parlando però della corrente elettrica, ci estenderemo maggiormente sopra questa proprietà. Osservo intanto che i corpi metallici sono in generale i migliori conduttori dell'elettricità. L'acqua, specialmente se è carica di sostanze saline e di acidi, conduce bene l'elettricità. Facendo passare la corrente elettrica per questi diversi liquidi vedremo che sono decomposti, e che la conducibilità è, per una tale decomposizione, assai accresciuta. V'è un gran numero di corpi i quali acquistano conducibilità allorchè sono fusi, perchè in questo stato ha luogo la scomposizione ed il trasporto degli elementi che li compongono. È però anche vero che vi sono dei corpi che fusi divengono conduttori, senza dar tracce di decomposizione, com'è il bijoduro di mercurio. Tutte queste questioni saranno più innanzi trattate distesamente.

L'azione del calore che favorisce la conducibilità dei liquidi e di qualche corpo solido, come il vetro, la ceralacca ec., diminuisce invece quella dei metalli.

Resterebbe ora da esaminare gli effetti prodotti dal passaggio istantaneo dell'elettricità attraverso ai corpi. Ma non v'è parte della Fisica tanto ricca di fatti quanto è questa; aicchè non finirei mai se di tutti volessi parlarvi, se volessi tutti mostrarveli coll'esperienza. Tanto più grande poi è la difficoltà che ora incontro, in quanto che del maggior numero di cotesti fatti ci manca tuttavia spiegazione. D'altra parte la corrente elettrica, di cui parleremo a luogo più innanzi, ha ne' suoi effetti una grande analogia con quelli della scarica elettrica che ora studiamo: ond'è che gioverà tenere allora proposito dei detti effetti, molto più che essi appaiono in un modo più regolare, più stabile, quindi più proprio a studiarsi con un certo ordine. Ora dunque mi resterò ad esporvi i fenomeni più importanti della scarica elettrica, e per farlo col miglior ordine possibile li distinguerò in fenomeni fisici, chimici e fisiologici.

Prima di descrivere questi fenomeni, è opportuno che vi mostri l'apparecchio che serve a far passare la scarica di una batteria a traverso di un corpo qualunque. Si compone quest'apparecchio di due verghe metalliche *a b*, ed *a' b'* (*Fig.* 102) montate a cerniera sopra le colonne isolanti *c d* o *c' d'*; scorrono queste verghe con un certo attrito

in due anelli, e per questa disposizione possono l'estremità delle due verghe allontanarsi l'una dall'altra, e prendere tutte le posizioni possibili. V'è in mezzo un sostegno *m n* che può fissarsi a diverse altezze, e che è destinato a ricevere i corpi attraverso ai quali si fa passare la scarica. Le due verghe terminano nelle loro estremità lontane in un anello, ed è coi due anelli che si stabilisce la comunicazione colle due armature della batteria; le altre due estremità *a' b* sono terminate da due palline che possono togliersi essendo fissate a vite, nel qual caso queste due estremità rimangono terminate in punte.

Qualunque sia il corpo attraverso del quale si fa passare una scarica elettrica, si trova sempre che ha subito un certo riscaldamento. Basta, per osservare ed aver anche la misura di questo fenomeno, di far passare un filo metallico entro la bolla di un termoscopio. La più piccola scarica riscalda il filo, per cui l'aria si dilata e l'indice del termoscopio si muove. Questo fenomeno è costante: tuttavolta si esige una scarica abbastanza forte per render sensibile questo riscaldamento senza il soccorso di quei delicati strumenti termoscopici che oggi possiede la Fisica. Fatta passare una data scarica elettrica attraverso a fili metallici di natura e dimensioni diverse, in generale si trova che il riscaldamento cresce proporzionalmente alla resistenza che incontra l'elettricità a propagarsi. Assottigliate il filo metallico scaricatore, allungatelo, sceglietelo di quella sostanza metallica che più difficilmente conduce l'elettricità, e avrete il maggiore sviluppo di calore.

Ma su questo soggetto non posso astenermi dall'esporvi alcuni dei risultati importanti ai quali Riess è giunto in questi ultimi tempi studiando il fenomeno del riscaldamento prodotto nei fili metallici dalla scarica elettrica. L'apparecchio di cui il dotto Fisico di Berlino si è servito nelle sue ricerche è all'incirca quello che ho descritto. Consiste quell'apparecchio in un tubo di vetro terminato in un piccolo pallone; l'estremità del tubo pesca dentro l'acido solforico colorato e diluito con alcool. Il pallone porta due ghiere d'ottone in cui è fissato il filo di platino, attraverso del quale si fa passare la scarica. Quando questo avviene, il filo si riscalda, l'aria si dilata, e la colonna liquida che era sollevata nel tubo scende. Si tiene il tubo di vetro inclinato perchè le indicazioni della colonna liquida sieno più sensibili. In una prima serie d'esperienze, non tenendo conto che dell'influenza sul riscaldamento dovuta alla carica elettrica, Riess ha mostrato che l'elevazione di temperatura di un filo metallico prodotta dalla scarica elettrica è proporzionale al prodotto della quantità d'elettricità accumulata per la sua densità, o, ciò che torna lo stesso, è proporzionale al quadrato della quantità d'elettricità diviso per l'estensione o superficie armata della batteria. Lasciando costante il circuito della batteria, se si fa variare il solo filo di platino contenuto nel pallone termoscopico, si trova che quando una data quantità di elettricità è scaricata *completamente nello stesso intervallo di tempo* attraverso un filo metallico della stessa natura, ma di dimensioni diverse, ognuno dei fili di dimensione diversa prova una elevazione di temperatura proporzionale alla quarta potenza del suo raggio, e indipendente dalla sua lunghezza. Dal che evidentemente risulta, che la quantità di calore che il filo riceve per la scarica è proporzionale alla sua lunghezza: ed infatti perchè un filo di lunghezza doppia di un altro acquisti la stessa temperatura, è forza che la quantità di calore che egli riceve, sia doppia di quella ricevuta dal filo di cui la lunghezza è 1.

Quanto all'influenza della grossezza, si vede che non è solo dovuta alla maggior massa che deve venire riscaldata; nel qual caso la sua temperatura non sarebbe, pel filo di doppia grossezza, che quattro volte minore di quella che è nel caso del filo di cui la grossezza è 1: ma che l'effetto della grossezza è di diminuire assolutamente la quantità di calore che l'elettricità sviluppa.

Riess ha poi studiato questo riscaldamento prodotto dalla scarica tenendo costante la lunghezza del filo contenuto nel pallone termoscopico, e facendo variare il filo che compone il rimanente del circuito, a modo da far variare la durata della scarica per la resistenza con ciò prodotta, ed ha così trovato che quanto è maggiore la resistenza che il filo presenta alla scarica, meno è grande il riscaldamento del filo invariabile del termoscopio. La resistenza di questo filo alla scarica, o la durata della scarica, cresce col tenerlo più lungo e più sottile. Riess adunque è giunto a stabilire le seguenti leggi.

Il riscaldamento di un filo prodotto dalla scarica, è reciprocamente proporzionale alla durata della scarica; il ritardo che la scarica soffre coll'allungamento del filo è in ragione diretta della lunghezza del filo aggiunto, e in ragione inversa del quadrato del suo raggio.

Infine lo stesso Fisico si è fatto a studiare il fenomeno del riscaldamento facendo variare il metallo per cui si fa la scarica, ed è pervenuto a questo generale principio: se si supponga di avere un arco metallico composto di molti e diversi fili riuniti l'uno dopo l'altro, e se si faccia passare una scarica

per quest' arco così composto, le quantità di calore che si sviluppano in ognuno del fili sono proporzionali al grado d' indebolimento che ognuno dei fili fa soffrire, preso separatamente, ad una scarica elettrica qualunque. Il qual risultato può esporsi ancora in questi termini: se si suppone di scaricare una data batteria con fili di diversi metalli e dello stesso diametro, di cui le lunghezze sieno prese in ragione inversa del loro potere d' indebolire la scarica, si conosce che questi fili, per quanto possano trovarsi diversamente riscaldati, pure se fossero circondati di ghiacchio fonderebbero, per riprendere la loro temperatura, la stessa quantità di ghiaccio; il che significa che avrebbero sviluppata la stessa quantità di calore.

Guardando ai numeri trovati da Riess, si ha 148,7 pollici per un filo d' argento, 88,8 per un filo d' oro, 15,5 per un filo di platino: le quali lunghezze son quelle in cui si produrrebbe lo stesso sviluppo di calore per una stessa scarica. Donde viene che il filo di platino più corto dovrà apparire tanto più riscaldato degli altri.

Nessuno, meglio di Riess, ha dunque mostrato che la quantità del calore che la scarica elettrica sviluppa, dipende dalla resistenza che questa scarica incontra. Vuolsi però osservare, che l'illustre De la Rive in un lavoro d' assai anteriore a quelli di Riess, era giunto alle medesime conseguenze: se non che mancava ad esse il corredo di tutti i fatti scoperti dal Fisico tedesco.

Per questo riscaldamento prodotto dalla scarica elettrica sui varî metalli, succedono tanti altri fenomeni dipendenti dalle proprietà che hanno i fili metallici fortemente riscaldati di fondersi, di volatilizzarsi, di bruciare. Così è che una foglia d'oro battuto, stretta fra due lastre di vetro e attraversata dalla scarica di una batteria, si converte in una polvere violacea che è sparsa qua e là, la quale non è altro che oro estremamente diviso, e non mai ossido d'oro come si era creduto. A quell' alta temperatura l' ossido d'oro, se si producesse, sarebbe ridotto allo stato d'oro metallico. Si può applicare quest'esperienza a disegnare un'immagine violetta sulla seta. Al qual effetto s'intaglia l'immagine in una carta che si posa sopra un pezzo di seta, e sopra la carta si distende la foglia d'oro. Stretto il tutto entro un *morsetto* di legno, e fatta passare la scarica per la foglia d'oro, si trova sulla seta trasportata l'impronta dell'immagine coi colore violetto che prende l' oro sotto l' azione della stessa scarica. Un filo di ferro attraversato dalla scarica di una batteria diviene candescente, brucia, e si disperde in una infinità di piccoli grani allo stato d'ossido. I fili di argento, di stagno, di zinco son pure volatilizzati, o fusi. In un'Opera celebre di Van Marum sono riferiti i risultati ottenuti con una batteria potentissima scaricata attraverso a diversi metalli. Adoperando fili composti di leghe metalliche, i risultati che se ne ottengono si complicano necessariamente; e ciò per la parte diversa che hanno i diversi metalli in quei fenomeni, che è anche varia secondo le diverse proporzioni in cui vi si trovano. Harris ha osservato, ed il fatto è costante, che passando una scarica per un filo metallico molto sottile, si fonde più difficilmente se l' aria è rarefatta, di quello che non accade nell' aria alla pressione comune. Del qual fenomeno credo che la causa stia nello scaricarsi che fa per l'aria rarefatta una parte dell'elettricità, come già si è detto. Citerò ancora l' osservazione curiosa fatta da Nairne e dal giovane Becquerel, dell' accorciarsi dei fili metallici che hanno servito alla scarica di una batteria: quest'ultimo Fisico ha di più osservato che un filo di platino, attraverso al quale sono passate diverse scariche, diviene ondulato. Ma i fenomeni di riscaldamento pel passaggio della scarica elettrica si producono anche sopra sostanze non metalliche. Ond'è che uno strato di sabbia attraversato da una forte scarica di una batteria, si agglomera, si fonde in parte e si vetrifica. E di qui certamente la origine delle così dette *pietre del fulmine*. Saussure racconta d' avere osservato sulla cima del Monte Bianco alcune masse di anfibolo schistoso evidentemente vetrificate, e così ridotte dai fulmine scariatevi sopra.

Non meno grandi di quelli che abbiamo descritti sono i fenomeni di riscaldamento che avvengono nei liquidi e nei gas attraversati dalla scarica elettrica. Parleremo di ciò che avviene in questi ultimi trattando della scintilla. Quanto ai liquidi è facile di provarvi coll' esperienza la dilatazione violenta, e la rapida conversione in vapore che soffrono per la scarica elettrica. Un tubo di vetro pieno d' acqua, di mercurio o d' altro liquido, ed esattamente chiuso, se è traversato da una scarica elettrica s' infrange in mille pezzi. Un piccol mortaio d'avorio o di cera fornito di una cavità entro cui si mette una pallina di legno, mostra assai bene questo fenomeno. Si fa passare la scarica con fili metallici convenientemente disposti nel fondo della cavità del piccolo mortaio dopo avervi versato un po'd'acqua, o meglio dell'alcool. Nell' atto della scarica la pallina è lanciata ad una grande distanza.

Non è facile di assegnare la cagione dello sviluppo del calore prodotto dalla scarica elettrica. Si suol ripetere nei Trattati che

questo calore si sviluppa in conseguenza della subitanea compressione delle parti del corpo percorso dalla scarica. Veramente la scintilla, o scarica elettrica, produce nell'aria delle compressioni parziali che vedremo esser la causa del rumore che l'accompagna: ma vedremo altresì che appunto in questo caso, che è quello in cui la compressione prodotta dalla scarica si prova più facilmente, è impossibile di ricorrere ad una così fatta cagione per ispiegare il calore e la luce che accompagnano la scintilla elettrica. Tutti i fatti della Fisica moderna tendono a moltiplicare le analogie fra le *cagioni qualunque* dei fenomeni del calore, della luce, dell'elettricità, tutt'i giorni impariamo a convertire questi grandi agenti gli uni negli altri, e tutt'i giorni s'avvalora l'idea che uno solo è l'elemento di questi fenomeni. Qual maraviglia che l'elettricità possa, in determinate circostanze, modificarsi, ridursi a luce e calore?

Si sogliono descrivere a parte g'i effetti meccanici della scarica elettrica; ma io li esporrò dietro gli effetti fisici, considerandoli in generale una conseguenza di quelli. Comincerò dal mostrarvi il traforamento della carta operato dalla scarica. Se la batteria è formata da un gran numero di bocce, si riesce colla sua scarica a forare un libro, e quindi un gran numero di carte sovrapposte. Questa esperienza può anche provarci, se dopo i fatti di Wheatstone ne fosse bisogno, la grande velocità con cui si opera la scarica; posciachè se si tiene il fascio di carte sospeso ad un filo, il traforamento avviene senza che le carte concepiscano alcun movimento. Il qual fatto è analogo all'altro della palla lanciata da un fucile, e che traversa un vetro limitandosi a farvi un foro. Questo traforamento della carta ha offerto una singolare apparenza, che assai bene si osserva tenendo la carta (*Fig.* 97) fra due punte p p' metalliche ad una certa distanza. Il foro che se ne ottiene è costantemente sopra la punta che è a contatto dell'armatura esterna, o carica di elettricità negativa. Tremery ha trovato che facendo quest'esperienza nell'aria maggiormente rarefatta, il foro si allontanava sempre più dalla punta negativa avvicinandosi all'altra punta. Preparando le esperienze di queste lezioni, ho voluto ritentare la scarica attraverso della carta nel vuoto. Ma il risultato non fu esattamente quello ottenuto dal Tremery. Io ho operato con una batteria di nove bocce ben cariche, tenendo le due punte distanti da 3 a 6 centimetri una dall'altra, e ridotta la pressione da 4 a 2 linee della colonna barometrica. E così facendo, non ne è già venuto un solo foro; ma una serie di fori nel-l'intervallo fra le due punte. Quanto più la distanza fra le punte cresce, tanto più i fori s'allontanano dalle punte. Nè tutti questi fori poi sono disposti lungo la linea retta che congiunge le due punte, perciocchè se ne formano anche lateralmente. Checchè per altro sia di cotesto fenomeno, certo è che nell'aria alla pressione ordinaria il perforamento della carta avviene costantemente presso la punta negativa, e può adoperarsi con sicurezza questo mezzo per riconoscere la natura dell'elettricità che appartiene all'una e all'altra punta. Il qual fatto, scoperto da Lullin di Ginevra, è ancora senza spiegazione, e merita una considerazione particolare, come la meritano tutti quelli che mettono fuor di dubbio una differenza fra le due elettricità.

Descriverò ancora due altri effetti meccanici, di cui può difficilmente rendersi ragione, per la differenza che mostrano le due elettricità nel produrli. Mettete una pallina di legno o di midolla di sambuco in una specie di canaletto fatto con due cannelli di ceralacca tenuti vicini, e a qualche distanza dalla pallina fissate le due punte dello scaricatore. In qualunque punto si collochi la pallina, all'atto della scarica verrà sempre spinta verso la punta negativa.

L'altro effetto curioso è quello del movimento di una specie di molinello fatto da un tracciolo di sughero mobile intorno ad un asse, e fornito di tante ale o ventole di carta. Le due punte dello scaricatore si collocano precisamente in faccia l'una all'altra contro l'estremità dell'ala superiore, e a distanza eguale da questa. Facendo passare una serie di piccole scintille il molinello gira, e il movimento è sempre diretto dalla punta positiva alla negativa. Or questi due fenomeni debbonsi, per mio avviso, attribuire alle correnti dell'aria elettrizzata spinte dalle due punte dello scaricatore; ed infatti, se contro la punta negativa tengo una lastra di vetro, si vede il movimento di rotazione farsi più rapido. Conviene però ammettere, che questa corrente d'aria elettrizzata esce con maggior impeto dalla punta positiva che dalla negativa.

Se si fa passare la scarica della batteria nell'interno di un legno, di un pezzo di argilla, di zucchero, di una pietra qualunque, accade costantemente, quando la carica è molto forte, che questi corpi s'infrangono. La rottura del vetro si osserva frequentemente nelle bottiglie che si scaricano spontaneamente; ed è a notarsi che ciò avviene comunemente in quei punti in cui, o una bolla d'aria o un pezzo non ben vetrificato, rendono non omogenea in quel punto la struttura del vetro. Quando si voglia rom-

pere o forare il vetro colla scarica elettrica, si suol mettere una goccia d'olio a contatto di una delle punte che toccano il vetro, e in questo caso il foro è spesso regolare. La rottura è certa adoperando una boccetta, e facendo accadere la scarica nel fondo. Qualche volta la scarica scorre sulla superficie del vetro, e allora vi compariscono i colori bellissimi dell'iride, i quali sembrano prodotti da sottilissime lamine di sostanze trasportate dalla scarica elettrica e abbandonata nel passaggio, e anche da sfogliatura operata dal vetro, che più innanzi ci accadrà di trovare su questi trasporti. Qualche volta la scarica elettrica fa dei solchi nel vetro, ne graffia la superficie; ed è curiosa l'osservazione di Riess, che nei punti solcati dalla scarica il vetro si è fatto conduttore dell'elettricità. Anche sulle lamine di mica la scarica elettrica produce fenomeni analoghi; e sulla strada percorsa in esse dalla scarica vedesi più specialmente comparire una serie di frange colorate. Ricorderò ancora una curiosa osservazione di Priestley. Rivestiva questo celebre fisico una catenella metallica d'un grosso strato di resina, tuffandovela mentre era fusa. Fatta passare la scarica d'una batteria per la catenella, tutta la sua superficie esterna venne spogliata dalla resina, e nell'interno la resina era tutta screpolata. Ma per farsi una giusta idea degli effetti meccanici della scarica elettrica, basterà di risovvenirsi dei principali effetti del fulmine. Quanto a me inclino a credere che i detti effetti meccanici della scarica debbano, nel maggior numero dei casi, attribuirsi allo sviluppo istantaneo del calore nei corpi attraversati dalla scarica, e quindi alle dilatazioni improvvise, e alla formazione di vapori dotati di molta forza elastica. Egli è infatti difficile che in qual si voglia caso in cui avvengono questi effetti meccanici della scarica, non si rinvenga contemporaneamente un gran riscaldamento accompagnato da dilatazione e grande sviluppo di vapore. E quando si pensa che coi mezzi i più delicati di esperimentare non si è riconosciuto nell' elettricità una massa sensibile, e si considera che parecchi raggi luminosi concentrati, i quali hanno una velocità non minore di quella dell'elettricità, non producono alcun movimento quando sono diretti sopra corpi dotati di una estrema mobilità è difficile di attribuire gli effetti meccanici della scarica elettrica ad urti analoghi a quelli che vediamo accadere fra i corpi ponderabili.

Dovremmo ora esporre gli effetti magnetici della scarica elettrica; ma siccome per bene intenderli ci abbisognano delle cognizioni sui fenomeni magnetici che ancora non abbiamo, così sarà utile parlarne altrove.

Per queste stesse considerazioni sarebbe forse conveniente che mi astenessi dal discorrere gli effetti chimici della scarica. Ed in vero io credo che il passaggio istantaneo dell' elettricità non produca la scomposizione *de' liquidi* attraverso dei quali avviene, se non a condizione di ridursi a quello stato di continuità, che caratterizza la corrente elettrica, e di cui avremo tanto ad occuparci in seguito. Quando si esamina con qual processo si è giunti ad ottenere queste scomposizioni colla scarica, si trova che non si è fatto che ridurla a corrente elettrica. Wollaston ha ottenuto pel primo la scomposizione dell'acqua facendovi passare una serie di piccole scintille. Questo ingegnosissimo Fisico adoperava, per far passare la scarica nell' acqua due sottilissimi fili d'oro o di platino terminati da punta acutissime, i quali inseriva in tubi capillari di vetro; e per render poi il filo aderente col vetro, rammolliva colla lampada l'estremità dai tubi stessi: limava quindi sopra una pietra da ruota l'altra estremità fino a tanto che, guardata colla lente, se ne scoprisse la punta del filo. Fatti passare nell' acqua due tubi così preparati, a messi in comunicazione l'uno col conduttore della macchina, l'altro col suolo, si veggono formarsi sulle due punte metalliche alcune bolla gassose, che raccolte ed esaminate a parte si trovano essere di gas idrogene e di ossigene, cioè dei due gas che compongono l'acqua. Questi due gas non si producono mescolati, ma bensì separatamente, obbedendo alle leggi delle scomposizioni elettro-chimiche. Wollaston fece anche passare una serie di scariche in una soluzione di solfato di rame; e dopo cento giri dalla macchina elettrica, trovò che il filo comunicante col conduttore della macchina stessa era coperto di rame. Ma un processo molto più semplice abbiamo da Faraday per ottenere la decomposizione chimica colla scarica elettrica. Si dispone perciò sopra un foglio di carta tinta di lacca-muffa (*Fig.* 103) un certo numero di lozanghe di stagnola, a modo che tutte le loro punte aguzze sieno sulla stessa linea, e distanti di pochi millimetri l'una dall'altra. È utile, prima di far passare la scarica, d'inzuppare la carta nell' acqua comune, o meglio in una soluzione salina neutra qualunque. Munito il conduttore della macchina elettrica di una punta metallica, s'accosta questa punta alla punta della prima lozanga, e intanto si fa agire la macchina. Dopo un certo tempo si veda la carta di lacca-muffa farsi rossa sotto la

punta della macchina, e sotto le altre punte delle lozanghe che sono all'estremità opposta alla punta metallica della medesima. Sopra questa esperienza ci bisognerà tornare di nuovo, come quella che è fondamentale nella teoria delle decomposizioni elettro-chimiche.

Intanto aggiungerò due parole per mostrarvi sin d'ora in qual modo Faraday considera la scarica accompagnata da decomposizione. Se s' immagina d' introdurre in un lungo tubo di vetro pieno d' acqua stillata le due verghe dello scaricatore unito alle armature della batteria, e se il tubo è molto lungo, non v'è scarica: perciocchè l'acqua si trova nella condizione di un corpo cattivo conduttore, e in luogo della scarica succede l' induzione. Accorciando il tubo, segue la scarica; e se il liquido è scomposto, questa scarica non si limita alla distruzione degli stati elettrici sviluppati dall'induzione; ma s'aggiunge la separazione e il trasporto in direzioni contrarie dei due elementi, ossigene e idrogene, che compongono l' acqua. Può dunque ammettersi, ed altre sperienze concorrono a stabilirlo, che questi elementi si muovono, portando seco lo stato elettrico acquistato per l'induzione. V'è una curiosa esperienza di Faraday la quale mostra bene lo stato di polarizzazione o d'induzione molecolare di un corpo coibente traversato da una scarica. Facendo passare una serie di scariche, con due conduttori qualunque in una massa di essenza di trementina ben limpida e dentro cui nuotino dei fili di seta bianca, si veggono questi riunirsi in fila che vanno da un'estremità all'altra della via percorsa dalla scarica; cessata questa, i fili si disperdono irregolarmente.

L' azione chimica della scarica elettrica si osserva eziandio sui corpi allo stato solido: e questo fatto è importante, stabilendosi per esso una differenza fra l'azione chimica della scarica e quella della corrente elettrica. Un filo di ottone, che si sa esser composto di rame e di zinco, è decomposto dal passaggio della scarica elettrica; e i due metalli vengono separati l' uno dall'altro allo stato di ossido. L' ossido di stagno attraversato da una serie di scariche elettriche è in parte ridotto allo stato di stagno metallico. Si fa quest'esperienza mettendo l'ossido entro un tubo di vetro, e introducendovi le due punte dello scaricatore universale. Così dopo un certo numero di scariche si vede una porzione del tubo coperta di stagno metallico. Pare che l' esperienza riesca anche più facilmente sopra il solfuro di mercurio. E sarebbe pur questo un soggetto di più profondo studio.

Diremo finalmente degli effetti fisiologici della scarica. Non v'è parte della Fisica su cui tanto si sia scritto, osservato, o creduto osservare quanto su questa. Nollet, Gardini, e molti altri Fisici parlano dell'influenza dell'elettricità sulla vegetazione, e le loro Opere sono piene di osservazioni in proposito. Certo è però che, più accuratamente ripetute le loro esperienze, non si è mai giunti a verificare i risultati di quei Fisici. Il solo fatto ben verificato sopra ciò è quello della maggior facilità a germogliare che hanno i semi delle piante allorchè son posti all'estremità negativa della corrente elettrica, in confronto di altri semi o non affatto elettrizzati, o posti all'estremità positiva della corrente. Daremo più innanzi una soddisfacente spiegazione di questo fenomeno.

Sugli animali la scarica elettrica produce una sensazione tanto più dolorosa e forte, quanto è maggiore la tensione della carica, e la capacità del conduttore o del coibente armato. Sinchè le scintille che si hanno accostando un dito alla macchina non oltrepassano un pollice di lunghezza non producono quel movimento convulsivo involontario che chiamiamo *scossa*. La sensazione che se ne ha prima di avere la scossa, è una puntura più o meno dolorosa, limitata al punto su cui scocca la scintilla. Quando si fa passare la scarica di una o più bottiglie a traverso di una catena d' individui che si tengono per le mani, si trova che la scossa è maggiore per quegli individui che sono alle due estremità della catena. Il che è ben naturale; e s'intenderà di leggieri quando si rifletta che una parte dell'elettricità si scarica per il terreno, abbandonando gl'individui intermedi. E di fatto se gl'individui sono tutti sopra un piano isolante, risentono egualmente la scossa. Paragonando le scosse delle bocce o batterie che hanno molta capacità, e che sono cariche a piccola tensione, con quelle delle piccole bocce cariche fortemente, si nota una differenza nella sensazione o scossa che se ne ha: così colle piccole bocce molto cariche le scosse sono più *acute* e più passeggere, mentre colle grandi bocce le scosse sono più *gravi* più persistenti, e si prolungano con una specie d' intormentimento. La scossa prodotta da una scarica è sempre maggiormente sentita nelle articolazioni, forse perchè quivi la via offerta all'elettricità è più ristretta per la diminuzione della massa muscolare che ben conduce la scarica, e per l'accrescimento delle parti ossee e tendinose che la conducono malamente. Difatti la sensibilità per la scarica elettrica è sempre minore nei vecchi che nei giovani. In generale gli effetti della scarica elettrica si rendono tanto più

deboli, quanto è maggiore la conducibilità che colla sua più o meno grande umidità offre la parte del corpo animale trascorsa dalla scarica. Franklin racconta di non aver mai potuto uccidere colla scarica un topo bagnato. Si narra ancora che il fulmine abbia ucciso una donna incinta lasciandone salvo il feto e certo a cagione della gran copia di umori, che lo circondano.

È assai difficile, nello stato attuale delle cognizioni fisiologiche, di poter giustamente determinare in qual modo il fulmine o le forti scariche elettriche cagionano la morte dell'uomo e degli animali. E la difficoltà poi divien maggiore quando si riflette, che in un gran numero di casi la morte per la scarica elettrica avviene senza alcun segno apparente di lesioni, di stravasi, di lacerazioni di parti. Pare che l' azione della scarica elettrica si porti principalmente sull' elemento delle funzioni nervose; e l'esperienza è favorevole a questa opinione. Osservate infatti questa rana a traverso della quale fo passare lungo la colonna spinale la scarica della batteria: la rana si contrae, si stende, e par presa da tetano. Ripetendovi sopra le scariche s' accresce questo stato convulsivo, e la rana alla fine perisce; ma se io m'arresto dopo una o due scariche, veggo la rana riprendere, dopo qualche tempo, la sua solita vitalità. È inutile che io v'aggiunga che niuna lesione, niun bruciamento è accaduto nella rana uccisa o tormentata dalla scarica. Parlando della corrente elettrica noi esporremo con tutta la estensione i suoi effetti fisiologici, e diremo allora degli usi medici dell'elettricità.

Metterò fine alla presente lezione toccando dell' odore particolare che si sente nell'aria, ove siansi fatte molte esperienze elettriche. Questo odore, assai sensibile nei luoghi chiusi, dove il fulmine è trascorso, suole assomigliare a quello del fosforo o dello zolfo. Pfaff assicura che questo odore è specialmente prodotto pel diffondersi dell'elettricità positiva. Schoenbein ha studiato, in questi ultimi tempi, l'odore sviluppato nell'emettersi dalle punte l' elettricità ordinaria. Ma non ammetteremo così tosto l' esistenza del nuovo corpo semplice, o principio odorante dell'elettricità, che questo Fisico propone di chiamare *ozone*. Per altro è importante l' osservazione che egli ha fatto sull' analogia di questo odore con quello che s' ottiene all' estremità positiva della corrente che scompone l'acqua.

LEZIONI XLIII e XLIV.

Scintilla elettrica. — Scintilla elettrica nell' aria rarefatta. — Potere isolante dei gas. — Durata delle scintille. — Colore delle scintille. — Cagione del calore e della luce che accompagnano la scintilla. — Fiocco e stelletta elettrica. — Azione chimica della scintilla sui gas. — Eudiometro. — Fosforescenza per l'elettricità. — Anelli elettrici di Priestley. — Trasporto di materia operato dall'elettricità.

Allorquando un corpo cattivo conduttore è interposto fra due corpi carichi d' elettricità contraria, la scarica succede con fenomeni di calore e di luce. Questa scarica, che Faraday chiama col nome generico di *scarica di rottura*, avviene sotto la forma di scintilla, la quale talora si muta in *fiocco* o *stelletta*, e qualche volta si riduce ad un chiarore, ad una luce diffusa. Condizione essenziale di questo fenomeno si è, che un corpo coibente sia posto di mezzo ai due corpi conduttori carichi di elettricità contraria. Questi due corpi carichi d' elettricità contraria possono essere direttamente in comunicazione colle armature di una batteria, come lo sono le due verghe dello scaricatore. Ma può anche ottenersi la medesima condizione accostando ad un conduttore elettrizzato un altro che si elettrizzi per influenza. Sì nell'uno poi che nell'altro caso la scintilla ha luogo tutte le volte che la tensione, o intensità delle due cariche contrarie supera il *limite* della resistenza che il corpo coibente oppone alla scarica. Il qual limite, che è perciò la misura del potere isolante che conserva le due cariche elettriche contrarie, varia colle quantità d'elettricità che tendono a riunirsi, colla distanza alla quale si trovano, colla densità e natura del mezzo coibente interposto.

Harris ha trovato con una lunga serie di esperienze assai ben fatte, che in generale la distanza a cui avviene la scarica cresce in ragion diretta semplice della quantità di elettricità: così ad una distanza doppia abbisogna una quantità doppia d'elettricità; ad una distanza tripla, una tripla quantità d' elettricità. Riess dà l'espressione di questo rapporto colla formola $d=b\frac{q}{s}$, in cui d è la distanza a cui avviene la scarica, q la quantità d'elettricità, s la superficie su cui è accumulata, e b esprime la distanza a cui avviene la scarica di una quantità d'elettricità presa per unità. Questa distanza a cui avviene la scarica, che d'ora innanzi chia-

meremo *distanza esplosiva*, è indipendente dalla capacità dei conduttori da cui la scintilla salta, accumulandosi necessariamente le due elettricità nel loro punti i più prossimi, e può per conseguenza servire a misurare esattamente la tensione o la quantità d'elettricità accumulata sopra una data superficie qualunque. Riess lo ha provato coll' esperienza: introducendo nell' arco scaricatore conduttori di diversa lunghezza e natura, ha trovato che la distanza esplosiva era in tutti i casi la stessa, per una stessa quantità d'elettricità. Il nostro Volta era giunto, e assai prima dell'Harris e di Riess, a dei risultati che conducevano a questa legge. Di qui appare naturalmente, che anche la lunghezza della scintilla deve essere in ragione diretta semplice della tensione delle due cariche. Senza pretendere di farvi vedere con esattissime esperienze, che esigerebbero troppo tempo, come si giunga a stabilire questa legge, posso bene mostrarvi che tenendo a più o meno distanza dal conduttore elettrizzato della macchina un dito, uno scaricatore qualunque, la scintilla scocca a diverse distanze. Quando le distanze son grandi, le scintille sono meno frequenti, e l' elettroscopio quadrante indica precedentemente alla scarica una tensione maggiore; quando le distanze sono più piccole, le scintille son più frequenti, e l'elettroscopio segna una tensione minore. Sopra questa legge è fondato un istrumento che dà la misura della tensione deducendola dalla lunghezza della scintilla, e che perciò chiamasi *spinterometro*. Consiste questo in un filo metallico che termina con una palla, e che può più o meno avvicinarsi al conduttore elettrizzato. Si misura la lunghezza della scintilla misurando sull'asta graduata la distanza delle due palle. Questa legge però, che stabilisce la relazione fra la tensione e la distanza esplosiva, non è più così semplice se i due corpi avvicinati fra cui accade la scarica, non sono di forma sferica e di eguali dimensioni. Supponete che il conduttore della macchina termini in una palla molto sottile in confronto di quella che le si avvicina, adoperate una superficie piana in luogo della grossa palla, e la lunghezza della scintilla crescerà in una proporzione assai più grande della tensione secondo quella legge. Il grado di conducibilità dell'arco, senza alterare, come si è detto, la lunghezza della scintilla, produce delle differenze assai grandi in altri caratteri della medesima. Se l'arco è buon conduttore, la scintilla è brillantissima e forte il rumore: se l'arco è cattivo conduttore, come può farsi introducendovi un tubo d'acqua, la scintilla è appena sensibile. Come possono intendersi queste differenze nelle proprietà delle scariche prodotte dalla stessa quantità d'elettricità?

L'esperienze del citato Fisico hanno stabilito che tenendo costante la distanza esplosiva, la scarica di una batteria non è totale; e che la quantità d' elettricità che scompare nella scarica è sensibilmente la stessa, sia buono o cattivo conduttore il filo metallico che costituisce il circuito. Terminando l'arco con due palle d'ottone di sei linee di diametro, Riess ha stabilito che gli 11/13 della carica totale scompaiono nella scarica; rimangono 2/13 della scarica nella batteria. Fra due dischi, in luogo delle due palle, la quantità di scarica che scompare è 62/73 della carica primitiva, e quindi alquanto più grande.

Nel modo ordinario di produrre la scarica di una batteria si avvicina una palla dello *excitateur* che comunica con una delle armature all'altra fino a toccarla. È chiaro che giunta quella palla alla distanza esplosiva determinata dalla carica, si deve fare una scarica in cui scompaiono gli 11/13 della carica stessa. Continuando la palla ad avvicinarsi, una seconda scarica ha luogo alla distanza di 2/13 della prima: questa scarica fa sparire anche gli 11/13 di 2/13. È tanta la velocità con cui la scarica si fa, che può considerarsi in riposo la palla dello scaricatore nel tempo in cui essa avviene. Quindi è che nel modo ordinario di scaricare una batteria si fanno nel circuito due o diverse scariche che si succedono, le quali son separate da un intervallo di tempo apprezzabile, che è quello di cui la palla ha bisogno per passare da una distanza esplosiva a quella della scarica residua. Anche ognuna di queste scariche particolari non si fa istantaneamente. Se infatti una porzione del circuito fosse distrutta nella scarica, come può accadere, si troverebbe, e si trova coll'esperienza, un residuo di carica maggiore di quello che vi rimane quando il circuito resta intatto. È dunque gradualmente che si fa, in ogni scarica, la neutralizzazione delle due cariche contrarie ad una distanza considerata costante; e questo può facilmente intendersi ponendo mente al cangiamento che opera la prima quantunque piccolissima quantità d'elettricità, che comincia a passare attraverso all'aria. La prima scintilla riscalda e rarefà l'aria, e perciò la distanza esplosiva viene a diminuire.

Siamo eziandio debitori ad Harris della legge che ci dà il rapporto fra la distanza esplosiva e la densità dell'aria o gas attraverso del quale scocca la scintilla; e questa legge è che le quantità d' elettricità necessarie per produrre la scarica ad una distan-

za costante variano esattamente colla densità dell'aria, o, ciò che torna lo stesso, rimanendo costante la quantità d'elettricità, la distanza e la densità dell'aria variano reciprocamente. La stessa quantità dunque si scarica ad una distanza doppia quando riducasi a metà la densità dell'aria. L'apparecchio rappresentato colla *Fig*. 100, serve a farne esperienza. È egli, siccome vedete, un globo di vetro avente due colli chiusi da pezzi metallici, attraverso ai quali passano due verghe terminate da due palle pur metalliche, e che possono avvicinarsi l'una all'altra. Estraendo l'aria da questo globo, la stessa quantità d'elettricità può scaricarsi a distanze sempre più grandi a misura che la densità dell'aria divien minore. Osservate la distanza alla quale sono le due palle nell'interno del globo in cui l'aria è rarefatta, e quella a cui sono due simili palle in comunicazione colle medesime, e tenute nell'aria alla densità comune. La scarica della batteria passa a traverso a questi due strati ben diversi di lunghezza; e la scintilla dovuta alla stessa quantità d'elettricità è assai più lunga nel pallone in cui l'aria è rarefatta, di quello che si vede nell'aria esterna. La scintilla stessa della macchina attraversa uno strato d'aria rarefatta lungo tre o quattro piedi. Eccovi il tubo di vetro, che già adoperammo quando si studiava la legge della caduta dei gravi. Se dopo che ne ho estratta una gran parte dell'aria, io l'avvicino al conduttore della macchina elettrica colla sua estremità metallica, veggo ad ogni scintilla che salta dalla macchina lampeggiare il tubo tutto intiero. Fenomeno analogo a quello che si osserva ne' barometri, se, essendo in luogo oscuro, si fa in essi salire e scendere il mercurio, posciachè allora ad ogni discesa vedesi un anello di luce accompagnare la sommità della colonna. E questo altresì ha origine dalla elettricità sviluppata nella confricazione del mercurio col vetro, la quale attraversa l'aria rarefatta in forma luminosa. Ma perchè succeda nei barometro, il vuoto dev' essere perfetto più che è possibile; e perchè l'anello luminoso persista, è necessario che l'aria vi sia in una quantità piccolissima. Al qual fine Cavendish ha immaginato il doppio barometro, che vi presento nella *Fig*. 114. Se si mette il mercurio della vaschetta *a* in comunicazione col suolo, e il mercurio dell'altra *b* coll'armatura interna di una boccia di Leida, la scarica si fa prontissimamente, e tutto lo spazio del tubo arcuato che separa le due colonne di mercurio risplende di una viva luce, benchè sia lungo molti pollici.

E qui mi è duopo dirvi come dobbiamo considerare il *vuoto perfetto* riguardo all'elettricità. Si disputa ancora dai Fisici se esso sia o no conduttore dell'elettricità. Walsh, De Luc, Morgan riferiscono esperienze che sembrerebbero assai concludenti, fatte col doppio barometro che abbiamo descritto, o con un barometro semplice coperto di stagnola nella superficie esterna che corrisponde alla porzione vuota della colonna, e ivi messo in comunicazione colla macchina: queste esperienze proverebbero che il *vuoto perfetto non conduca l'elettricità*. Secondo questi Fisici, quanto più, costruendo il barometro, si fa bollire il mercurio per ottenere il vuoto più perfetto possibile, i segni del passaggio dell'elettricità diminuiscono sempre sino a cessare affatto. Non posso però tacervi che il celebre Davy, ritornato sopra queste sperienze, credè di trovare che lo spazio vuoto del barometro conducesse l'elettricità: se non che nelle sue sperienze vedeva crescere col riscaldamento i segni della conducibilità dello spazio vuoto, e diminuire d'assai raffreddandolo. Laonde è ben probabile che una piccolissima quantità d'aria e il vapor di mercurio, che non cessa di formarsi sotto la pressione atmosferica che a temperature inferiori allo zero, come ha provato Faraday, siano la cagione della conducibilità trovata da Davy nello spazio vuoto del suo barometro. L'aumento di conducibilità dovuto al riscaldamento è assai facile ad intendersi attribuendolo al vapor di mercurio che si forma in maggior quantità; e ciò è anche meglio provato dalla tinta verde che prende la scintilla, posciachè, siccome vedremo, così appunto avviene quando il mercurio è volatilizzato dalla scarica elettrica. Harris, Becquerel ed altri Fisici, hanno ritentato recentemente esperienze sopra questo soggetto, e tutti in generale s'accordano a considerare lo spazio assolutamente vuoto come non dotato di conducibilità per l'elettrico. E mi sembra che il modo con cui ci siamo rappresentati in generale la scarica, modo che è d'accordo collo stato attuale della scienza, conduca a questa conclusione. Posta la quale siccome vera, le attrazioni e repulsioni dei corpi elettrizzati non si possono certamente attribuir più alla presenza dell'aria, nè si può più riguardare l'elettricità come ritenuta alla superficie dei corpi dalla pressione della medesima. L'aria dunque a misura che vien rarefatta diverrà sempre più conduttrice; e tolta poi affatto, lo spazio assolutamente vuoto che lascia cesserà di condurre l'elettricità. Risovvenitevi a questo proposito di un'esperienza che vi feci nelle prime lezioni sull'elettricità: nell'interno di una campana di vetro erano so-

spesi due pendolini in comunicazione colla macchina elettrica, e questi elettrizzati divergevano; a mano a mano che l'aria era estratta dalla campana cessava la divergenza dei pendolini. Allora vi diceva, adottando il linguaggio comune, parlandovi in un modo che era il solo che allora potevate intendere, che tolta la pressione dell'aria, l'elettricità fuggiva dalla superficie dei corpi, e quindi nei pendolini non giungeva a tanta tensione da produrvi la divergenza. Un tal risultato va ora interpetrato diversamente; l'aria rarefatta della nostra campana conduce, lascia passare l'elettricità meglio dell'aria alla pressione ordinaria, e perciò non ne rimane sui pendolini. Becquerel e Harris hanno fatto prova di estrarre l'aria sino a non lasciarne più che una piccola porzione capace di sostenere un millimetro di colonna barometrica; si metteva nel recipiente, in cui l'aria era ridotta a tanta rarefazione, un elettroscopio rinchiuso in una campana di vetro, e da cui l'aria non poteva escire. La divergenza mostrata dalle foglie d'oro elettrizzate prima di estrar l'aria, non diminuiva affatto estratta l'aria. Eppure la pallina superiore dell'elettroscopio era immersa nell'aria rarefatta; è dunque giusto di concludere, che l'aria molto rarefatta non conduce più l'elettricità. Adunque l'opinione di Harris che il vuoto assoluto non possegga nè proprietà *conducitrici nè isolanti* parmi, per quello che è detto, che sia d'accordo coi fatti citati, e colle idee generali che abbiamo adottate. Ogni scarica, si operi essa fra corpi coibenti o fra conduttori, esige sempre un'induzione precedente, e non può quindi operarsi che fra le parti della materia ponderabile. Faraday ci ha insegnato coll'esperienza, che i corpi coibenti influiscono colla loro diversa natura nell'induzione.

Ritorniamo ai fenomeni della scintilla e alle circostanze che l'accompagnano. Le variazioni di temperatura nell'aria non producono alcun cambiamento nella distanza esplosiva a cui può accadere la scarica di una data quantità d'elettricità: e questo è un altro resultato delle ricerche di Harris. Tutte le volte adunque che l'aria interposta è riscaldata o raffreddata in un recipiente chiuso, senza che perciò vi avvenga cambiamento di densità, il suo potere isolante non varia: se però in virtù di questi cambiamenti di temperatura la sua densità può variare, allora varia anche il suo potere isolante, obbedendo semplicemente alla relazione che già abbiamo stabilita fra la densità dell'aria e la distanza esplosiva. Con questi principî dobbiamo spiegare l'aumento di conducibilità dell'aria riscaldata, allorchè è in libera comunicazione coll'atmosfera.

Passiamo a studiare il vario potere isolante dei diversi gas, ed a determinare se la distanza esplosiva di una data quantità d'elettricità è la stessa nei diversi gas. Su di che ancora ci vengono in aiuto le importanti ricerche di Faraday. Per le quali, e quand'anche non sussistesse nel progresso della scienza l'idea che ci siamo fatti della scarica elettrica, non sarebbe men certo aver egli infinito alla scoperta dell'azione specifica dei coibenti fra cui accade l'induzione e la scarica. Immaginatevi due globi di vetro perfettamente eguali, e come quello della *Fig.* 100; riunite due a due le estremità che escono dai globi, e fate che così riunite comunichino le une col conduttore della macchina elettrica, le altre due col suolo. La disposizione di quest'apparecchio è rappresentata nella *Fig.* 108.

Nei due recipienti le due palle che comunicano col conduttore della macchina sono più piccole delle altre due che comunicano col suolo. S'introduce in uno dei globi un gas, nell'altro si lascia l'aria, o, usando un globo simile, un altro gas. È evidente che quando la distanza esplosiva è eguale in v e in u, la scintilla ha luogo ora in un globo, ora nell'altro. E se si prende una distanza fissa in uno dei globi, si può far variare la distanza fra le estremità interne dell'altro globo sino a che anche in questo la distanza esplosiva si riduca eguale a quella che è nell'altro. Tenendo fissa la distanza nell'aria, può paragonarsi il potere isolante dell'aria a quello di un altro gas. In tal modo Faraday ha trovato che il potere isolante varia assai colla natura del gas, ed è giunto di più a questo risultato singolare; che, cioè, il potere isolante di un gas, dedotto in confronto a quello dell'aria, non è lo stesso se in luogo dell'elettricità positiva si fa passare l'elettricità negativa dalle estremità metalliche dei due globi, e stabilendo le comunicazioni nell'ordine stesso che si aveva al momento che passava l'elettricità positiva. Nella seguente tavola sono riportati i resultati di Faraday:

	Potere isolante per l'elettricità positiva.	Potere isolante per l'elettricità negativa.
Nell'aria.	0,19	0,09
Ossigene	0,19	0,02
Azoto	0,13	0,11

Idrogene	0,14	0,05
Acido carbonico	0,16	0,02
Idrogene carbonato. (*gas olefiant*)	0,22	0,08
Gas del carbone (*coal's gas*)	0,24	0,12
Acido muriatico	0,43	0,08

Per tutti i gas adunque la distanza esplosiva è minore quando le piccole palle sono elettrizzate negativamente. Questi risultati, in cui l'intervallo medio o distanza media esplosiva è presa per misura del potere isolante, presentano grandi differenze fra gas e gas: così sotto la stessa pressione, ed essendo le piccole palle cariche d'elettricità positiva, si vede il gas acido idroclorico o muriatico aver un potere isolante triplo di quello dell'idrogene e doppio di quello dell'ossigene, dell'azoto e dell'aria. Nè cotali differenze si possono già attribuire alla densità: posciachè il gas acido carbonico, più pesante dell'acido idroclorico e del gas idrogene carbonato, ha pur meno potere isolante: adunque nell'idrogene non è minore questo potere per la sua minore densità. Laonde si deve attribuire il potere isolante dei gas alla loro natura, alla forma o disposizione delle loro molecole. Anche però il numero più o meno grande delle molecole sotto lo stesso volume modifica il potere isolante di un corpo. Infatti operando sui liquidi, come l'essenza di tremeutina, la lacca fusa ec., si trova che alla stessa distanza la tensione è in questi assai più grande che nell'aria quando accade la scarica.

Osserverò inoltre che mentre, stando ai risultati di Harris e di Faraday, il potere specifico d'induzione è lo stesso per tutti i gas e qualunque sia la loro densità, non è però lo stesso, come abbiamo visto or ora, il loro potere isolante; e che la scienza è ancor lontana da poter togliere o render ragione di queste differenze.

Passiamo ad esaminare i diversi caratteri della scintilla e le modificazioni che questa soffre nel suo colore, nella sua forma. Se osservate la luce della scintilla prodotta dalla scarica di una batteria e la confrontate con quella che si ha dal conduttore della macchina, troverete che è tanto più viva quanto più è grande la quantità di elettricità che si scarica. Nei diversi gas la scintilla varia di colore, e noi ignoriamo ancora le cause di questa differenza. Nell'aria la scintilla ha una luce assai viva, e tanto più quanto è maggiore la carica: il suo colore, leggermente violaceo, cresce nell'aria rarefatta. La luce poi è in ogni caso meno intensa nel mezzo della scintilla: così nell'aria sulle due palle si veggono due punti luminosi brillanti, nel mezzo una tinta violacea. Nell'azoto le scintille sono di luce intensa come nell'aria, ma di un color porpora o bleu deciso. Nell'ossigene la luce è più bianca, ma meno brillante. Nell'idrogene la scintilla è di un bel colore cremesi. Il rumore che accompagna la scintilla, dovuto all'urto rapido comunicato all'aria e al vuoto lasciato e poi rapidamente occupato dall'aria circostante, varia nei diversi gas, per la diversa loro densità.

Vedremo più innanzi nel trattato della Luce, che fatto passare un raggio solare attraverso ad un prisma di cristallo, si risolve in sette strisce di diversi colori, che son quelli ben conosciuti dell'iride. Wollaston, Fraunhofer e Wheatstone hanno sottoposta la luce elettrica al prisma di cristallo, ed il risultato più curioso di queste ricerche è quello delle differenze trovate nei sette colori o spettri della scintilla secondo la varia natura dei metalli fra cui aveva luogo la scarica. Non è da dubitare, e lo vedremo in breve, che la scarica elettrica e quindi la scintilla non portino con sè parte della materia ponderabile dei corpi su cui scorrono: tuttavia non so ammettere con Fusinieri e Wheatstone che la luce elettrica sia dovuta alle sole materie ponderabili trasportate dalla scarica in istato di ignizione o di combustione: certo è però che cotali materie entrano per molto nel farla variare d'apparenza. Osservate il colore di queste scintille che traggo dal conduttore di ottone della macchina e da un conduttore inargentato che vi è unito: la scintilla di quest'ultimo è di un bel color verde.

Se esaminiamo la traccia di una scintilla si vede, in generale, che finchè è corta e non ha più di un pollice di lunghezza, la sua traccia è rettilinea. Se la scintilla diviene più lunga, si mostra tortuosa e prende press'a poco la forma a zig-zag ben conosciuta del fulmine. Qualche volta la scintilla s'incurva, e ciò avviene quando si tiene inclinato il conduttore che s'avvicina al corpo elettrizzato. Qualche altra volta si formano delle ramificazioni che si riuniscono ai due punti estremi della scintilla, e ciò più specialmente nell'aria rarefatta.

Ma è tempo che vi parli delle ingegnose ricerche tentate da Wheatstone per determinare la durata della scintilla elettrica. A questo fine adopera il Fisico inglese il solito specchio che ruota rapidamente intorno

ad un asse verticale, collocato di faccia a due palle metalliche A e B (*Fig.* 116) situate verticalmente una al disopra dell'altra, e fra cui scocca la scintilla di una macchina elettrica. È chiaro che se la scintilla impiega un certo intervallo di tempo per propagarsi fra le due palle, e che se la luce prodotta in ogni punto persiste per un certo tempo, la immagine che se ne avrà sullo specchio rotante non rappresenterà la scintilla osservata direttamente qualora la velocità di rotazione dello specchio sia in un certo rapporto con la durata della scintilla. L'immagine invece d'esser la linea *c' d*, apparirà obbliqua ed ingrossata come *ee' EE'*. Wheatstone avendo portata la velocità dello specchio sino ad 800 giri per secondo, avea mezzo d'accorgersi della durata d'un solo 1/1152000 di secondo. Malgrado di questa velocità nello specchio, non vide Wheatstone nè obbliquità nè allargamento nell'immagine di una scintilla lunga quattro pollici, che faceva scoccare dinanzi allo specchio. Dal quale sperimento si può dedurre, che il tempo impiegato da questa scintilla per avanzarsi nell'aria e la sua durata erano più brevi del piccolo intervallo di tempo suddetto, e che quindi la velocità della scintilla che scocca direttamente dal conduttore della macchina supera quella di 60 miglia italiane al secondo. La scintilla di una boccia di Leida sottoposta allo stesso esperimento ha mostrato di avere una durata sensibile, cioè di circa 1/24000 di secondo, nel qual caso la velocità era diminuita dalla resistenza presentata da un lungo circuito.

V'è un modo assai curioso per provare questa tanto breve durata della scintilla elettrica; e poichè molto m'interessa che ve ne persuadiate coll'esperienza, cercherò di esporvelo un po' minutamente. Se ognuno di voi che se si fa ruotare un carbone acceso con una certa rapidità, si vede non già un sol punto luminoso ma bensì una circonferenza di luce, nella quale l'occhio più acuto non distingue alcun intervallio che non sia illuminato. L'esperienza ha mostrato, che questo fenomeno avviene tutte le volte che il carbone acceso fa un intero giro in 1/10 di secondo. Questo fatto ci porta inevitabilmente ad ammettere, che una sensazione luminosa non cessa se non che un 1/10 di secondo dopo che è cessata compiutamente la causa che l'ha prodotta. E di fatti il carbone ha così il tempo di ritornare alla sua primitiva posizione, e di riprodurre l'immagine nell'occhio prima che sia cessata la impressione già fatta su di lui: e ripetendosi per tutti i punti della circonferenza successivamente occupati dal carbone questo fenomeno, dee venirne la linea circolare luminosa che produce colla sua rotazione. Disponendo adunque sopra una linea retta una serie continua di carboni accesi che insieme ruotino si avrà necessariamente una superficie circolare luminosa. Così è pure evidente che se invece di un sol carbone che ruota se ne avessero due, quattro, dieci, cento, disposti sopra una periferia ad eguai distanza l'uno dall'altro, basterebbe a produrre la circonferenza tutta luminosa una velocità di rotazione che fosse 1/2, 1/4, 1/10, 1/100 della velocità primitiva. Con due carboni basterà che la velocità sia di 1/10 di secondo per ogni mezzo giro, venendo così l'altro carbone dopo il mezzo giro a collocarsi nella posizione del primo; con quattro carboni la velocità dovrà essere di 1/10 di secondo per ogni quarto di giro, e quindi di 4/10 di secondo pel giro intiero, e così via discorrendo. Abbiamo supposto sin qui che i punti o le linee rotanti risplendano di una luce propria; ma è ben evidente che lo stesso ragionamento sussisterà se i punti o le linee rotanti son luminose per riflessione, purchè siano in modo disposte che l'occhio possa egualmente scorgerle in tutte le successive posizioni che occupano nel ruotare. Immaginatevi una ruota fatta in parte di razzi incapaci a riflettere la luce, e in parte di razzi capaci a rifletterla; fate girare questa ruota dinanzi alla fiamma di una candela, e vedrete una superficie circolare luminosa. Se uno solo fosse il razzo splendente per riflessione, bisognerebbe che la ruota girasse in 1/10 di secondo per comparire tutta illuminata: se avrà quattro, dieci, cento razzi egualmente distanti l'uno dall'altro, produrrà lo stesso effetto facendo una rivoluzione in 4/10 di secondo, in 1 secondo, in 10 secondi. Supponiamo di avere una ruota con cento razzi capaci di riflettere la luce della candela accesa, e supponiamo che la ruota faccia un'intiera rivoluzione in 1/10 di secondo, ciò che è assai facile ad ottenersi. Ognuno di questi razzi impiegherà la centesima parte di 1/10 di secondo, o 1/1000 di secondo per portarsi da una qualunque delle sue posizioni a quella che occupa nello stesso istante il razzo precedente. Ma noi abbiamo ammesso sin qui che la luce che illumina i razzi riflettenti della ruota fosse continua; supponiamo ora che questa luce non duri che un istante; supponiamo che per la nostra ruota, nelle circostanze in cui l'abbiamo descritta, duri questa luce meno di 1/1000 di secondo, cioè meno del tempo che è necessario ad un razzo illuminato per passare dalla sua posizione a quella che occupa nello stesso tempo il razzo precedente: la nostra ruota non potrà più comparire illuminata per tutta la superficie. La

luce non colpirà i diversi razzi che in una sola delle loro posizioni, ed osservata sotto questa posizione produrrà nell'occhio una immagine, di cui abbiamo fissata sperimentalmente la durata a 1|10 di secondo, e così la ruota che gira comparirà per 1|10 di secondo come se fosse immobile o sotto la sua vera forma. Fate che la luce duri 1|1000 di secondo, ed essa vi comparirà come una superficie circolare tutta illuminata. Si può dunque spingere assai innanzi la misura della durata di una luce qualunque costruendo ruote assai grandi, e dando loro una grande velocità di rotazione. Intesi bene questi principi, ci sarà facile vederne l'applicazione alla misura della durata della scintilla elettrica. Disponete la ruota che abbiamo descritto, in modo che giri con rapidità dinanzi a due palle metalliche, una delle quali comunica col suolo, o con un conduttore negativo della macchina, l'altra col conduttore positivo, e osservate la ruota illuminata dalla scintilla elettrica che scocca fra le due palle. La ruota vi *sembrerà immobile*, distinguerete i razzi che riflettono da quelli che non riflettono. Ho calcolate le dimensioni della ruota che qui vedete, le distanze fra due razzi successivi, e il tempo impiegato a fare una rivoluzione; 3|1000 di secondo s'impiegano nel passaggio di un razzo dalla sua posizione a quella del razzo precedente. Eppure mentre la scintilla elettrica scocca, la ruota vi appare come se fosse immobile, distinguete i razzi che riflettono da quelli che non riflettono. Ingrandendo la ruota, e facendola girare più velocemente, Wheatstone si assicurò che la durata della scintilla della macchina era minore di 1|1152000 di secondo.

Poichè la velocità con cui si propaga l'elettricità nei corpi buoni conduttori è tanto grande, come già vedemmo, e poichè la scintilla della macchina ha una durata tanto piccola, certo è che una scarica elettrica passando attraverso ad un corpo composto di tanti pezzi metallici separati da piccoli intervalli o di aria o d'un corpo coibente, darà in ognuno dei salti che farà in questi intervalli una scintilla, che al nostro occhio apparirà come se avvenisse in tutti i punti nello stesso istante, e per tutti comparirà e cesserà nello stesso tempo. Su questo principio sono costruiti i così detti tubi scintillanti, che si fanno (*Fig.* 103) incollando sopra un vetro tante lozanghe di stagnola a piccola distanza l'una dall'altra, e rivolte l'una di faccia all'altra colle loro punte aguzze. Si può anche spargere limatura metallica su di un vetro verniciato di fresco. Vedete infatti che appena passa una scintilla della macchina, o una scarica di batteria attraverso a questi vetri così preparati, tutto ci sembra illuminato. È una luce diffusa, un *lampo* che vedete.

Cade qui il discorrervi di una singolare apparenza luminosa della scarica elettrica. Abbiamo visto in che consista la scintilla, come questa scocchi costantemente fra due corpi più o men bene conduttori e carichi di elettricità contraria. Ma v'è anche scarica elettrica abbandonando a sè il conduttore elettrizzato. Applicate una punta smussata, una palla di 15 a 20 millimetri di diametro all'estremità del conduttore della macchina elettrica, e fate agire la macchina in luogo oscuro: vi apparirà un *fiocco* (*Fig.* 110) di color violetto, e di una luce assai splendente nel punto più vicino al conduttore da cui parte e molto più pallida nelle ramificazioni, agitato da un tremolio, e accompagnato nello stesso tempo da uno strepito sordo o grave. Questo fiocco si sviluppa meglio accostando un corpo qualunque, una mano, un conduttore, alla palla: con che anche il suono si fa più acuto: e se si allontana la mano a poco a poco, il suono cessa, la luce diviene continua, e forma una specie di chiarore. Accostando corpi di forma diversa, e in diverse direzioni rispetto alla palla da cui esce il fiocco, prende esso le forme delle *Fig.* 109, 111, 112. È facile di passare dal fiocco alla scintilla, e da questa a quello. Lo stesso conduttore munito di una piccola palla, all'avvicinarsi di una palla più grande in comunicazione col suolo dà ora il fiocco or la scintilla, secondo che la distanza è più o meno grande. In queste esperienze avviene un fenomeno costante tanto pel fiocco che per la scintilla; ed è che si producono più facilmente, più distintamente queste scariche, quando già hanno avuto luogo, quando già l'aria è stata traversata dalla scarica. E ciò è così vero, che una volta determinata la distanza esplosiva, e seguitando ad agire egualmente colla macchina, si ha la scintilla allontanando di più i due corpi. Forse il riscaldamento dell'aria prodotto dalla scarica favorisce questo fenomeno.

Guardando il fiocco come si produce nell'aria alla pressione ordinaria da una buona macchina, appaiono continui i diversi rami che lo compongono: Wheatstone che ne ha osservata l'immagine col suo ingegnoso specchio rotante, ha distintamente veduto che consisteva in tante scariche successive ed intermittenti. Il suono prodotto, il farsi più acuto questo suono crescendo la tensione all'avvicinarsi di un corpo al conduttore, provano che il fiocco elettrico è fatto in realtà da tante scariche successive.

Nell'aria rarefatta, le apparenze del fioc-

co sono assai belle. Si può fare quest'esperienza con una campana di vetro munita superiormente di una verga metallica che esce al di fuori, e che può sollevarsi ed abbassarsi senza che per questo, anche fattovi il vuoto, l'aria vi entri. Questa verga è unita nell'interno a una stella di ottone. Si posa sul piatto della macchina pneumatica un disco di ottone che comunica coi suolo, e poi si cuopre colla campana. Estratta l'aria in gran parte, se si accosta il bottone della verga al conduttore della macchina elettrica, si veggono, ad ogni scintilla della macchina, partire da tutte le punte della stella delle ramificazioni di un bel color porpora, le quali vanno ad unirsi al contorno del circolo che è interamente illuminato. Scostando la stella dal disco, le ramificazioni si fanno più tortuose, più diffuse; e avvicinandoli molto si giunge sino ad avere tante scintille.

In tutti i gas, e anche nei liquidi, può aversi il fiocco: se non che in questi si ottiene difficilmente, ed è sempre piccolo, come può vedersi nell'olio di trementina. Nei diversi gas sono diverse le apparenze del fiocco, ed è a notarsi che invece è invariabile, qualunque sia il corpo che si scarica per produrlo. Nel gas azoto il fiocco si produce più facilmente che negli altri gas, ed in questo gas rarefatto diviene bellissimo. Nell'ossido di carbonio il fiocco è piccolo, e di color verde. Nel gas acido idroclorico s'incontra difficoltà ad ottenerlo più che in qualunque altro gas.

Se in luogo di elettrizzare con elettricità positiva il conduttore che dà il fiocco, si elettrizza negativamente, cessa questo fenomeno, e in suo luogo e nelle stesse circostanze si ha un punto illuminato di luce assai viva, una *stella* o *stelletta* elettrica.

Queste due apparenze possono vedersi egualmente sui corpi indotti che avvicino al conduttore elettrizzato o positivamente o negativamente. Se è una punta smussata o una piccola palla che s'accosta al conduttore della macchina, si vedrà questa punta o la palla illuminarsi, mostrare dei punti luminosi come quelli del conduttore elettrizzato negativamente. Se invece accosto al conduttore elettrizzato negativamente la punta o la palla, vedrò il fiocco sui corpi avvicinati, come su di un corpo elettrizzato positivamente. In questo modo, cioè avvicinando un conduttore che comunica col suolo al conduttore elettrizzato, si hanno necessariamente i due fenomeni, mettendosi così in presenza i due conduttori carichi l'uno positivamente, l'altro negativamente. V'è dunque nello stesso tempo fiocco positivo e stelletta negativa; e questi due fenomeni cominciano dal prodursi su quello dei due corpi che, qualunque siasi la sua elettricità, ha una tensione maggiore. A questo risultato ci portano le ricerche di Wheatstone fatte col solito processo.

Non crediate però che questi due fenomeni, il fiocco dell'elettricità positiva e la stella della negativa, si producano in un modo così ben distinto, e in tutti i casi. Perchè accostando di molto alla punta smussata negativa una grossa palla metallica o una superficie piana di metallo, a due o tre centimetri di distanza la stelletta negativa si converte in un piccolo fiocco che cresce fino a dare scintilla avvicinandole maggiormente. Questi effetti presentano tutta la serie della differenze tra fiocco e stella: così il fiocco di un conduttore positivo, nell'interno del gomito del conduttore, ha una forma talmente contratta che sembra la stella negativa. Nei diversi gas il fiocco e la stella variano d'apparenza da quello che sono nell'aria in alcuni di questi, come nell'acido idroclorico cessa qualunque differenza tra il fiocco e la stella. Dai quali fatti risulta sempre il rapporto fra la diffusione dell'elettricità e la natura varia delle molecole per cui si fa.

E qui mi è offerta occasione per parlarvi di un'altra differenza notata da Faraday nella scarica delle due elettricità. Eccovi il fatto. Osservate queste due forche (*Fig.* 113) che sono l'una in comunicazione colla macchina, l'altra col suolo. Le due forche portano due palle alle due estremità che si guardano; una delle quali B è piccola, l'altra A è grande. L' altra forca R è egualmente terminata da due palle, e di eguali dimensioni delle altre due, se non che la disposizione è tale, che alla piccola di L guarda la grande D di R, e alla grande di L guarda la piccola C di R. Gl'intervalli *n* ed o sono variabili, potendo muoversi le due forche. Elettrizzando positivamente le palle A o B, la scintilla ha luogo il più spesso con fiocco, in *n*: quando le stesse palle A e B sono elettrizzate negativamente la scintilla ha pur luogo in *n* sempre con fiocco. Facendo variare queste distanze, adoperando or l' una or l'altra elettricità e variando la natura del mezzo o il gas per cui passa e la sua densità, Faraday è giunto a questi risultati: 1.° che di due superficie egualmente conduttrici poste nell'aria ed elettrizzate allo stesso grado, l' una positivamente e l'altra negativamente, quella che è negativa si scarica nell'aria ad una tensione minore di quella che è necessaria per la scarica della positiva; 2.° allorchè la scarica ha luogo, è maggiore la quantità d'elettricità che si scarica dalla superficie positiva

che dalla negativa: in questo secondo caso la scarica ha luogo ad una tensione minore e quindi ne passa meno.

Adoperando l'apparecchio (*Fig.* 113) dentro ad un recipiente, disposto in modo da poterne estrarre l'aria ed introdurvi un altro gas, e tenendo eguali gl' intervalli *n o* fra le due palle di dimensioni diverse, Faraday ha ottenuto i seguenti risultati:

Aria. Intervallo = 0,4 pollici, A e B elettrizzate +, scarica eguale in n ed o ; A e B elett. — , scarica più forte in *n* con stella.

Id. Interv. = 0,8 poll. A e B elett. +, scarica in *n* con fiocco; A e B elett. — , scarica in *n* con stella.

Azoto. Interv. = 0,4 poll. A e A elett. +, scarica più forte in n ; A e B elett. — , scarica in o più forte.

Ossido di carbonio. Int. = 0,4 poll. A e B elett. +, scarica in o; A e B elett. — , scarica in *n*. Acido carbonico id.

Vedesi da ciò, che la piccola palla facilita la scarica allorchè è elettrizzata negativamente, più di quello che quando è elettrizzata positivamente; e questo per alcuni gas, come acido carbonico, ossido di carbonio ec. per altri è al contrario.

A tali risultati è giunto il Belli con esperienze ben diverse. Questo dotto Fisico adopera due conduttori eguali isolati, ai quali comunica la stessa quantità d' elettricità, che per uno è positiva, per l'altro è negativa; tenendo conto del tempo che impiegano a dissipare una data quantità della loro elettricità, trova il Belli che quello elettrizzato negativamente perde maggior quantità di elettricità nello stesso tempo, di quella che è perduta dall'altro.

Prima di scendere a parlarvi degli effetti della scintilla elettrica, dei fenomeni che produce, debbo dirvi qualche cosa sulla cagione dello sviluppo di calore e di luce che l'accompagna. Io tocco questa questione solo per distruggere in voi una dottrina che è stata per molto tempo assai accreditata, e che oggi non regge più all'esame dei fatti. Risovvenitevi dell'acciarino pneumatico di cui v'ho dato un cenno; risovvenitevi delle scariche del fucile ad aria: comprimendo molto rapidamente l'aria in questi istrumenti, v'è sviluppo di calore e di luce, ed è per questo che l'acciarino serve ad accendere i corpi. Si è creduto perciò che anche la scintilla elettrica comprimesse fortemente l'aria, e che per questa compressione si sviluppassero calore e luce.

Non si può mettere in dubbio che la scarica elettrica non comprima rapidamente l'aria attraverso di cui avviene: coll' apparecchio (*Fig.* 105) fate passare una scintilla sola e anche piccola, fra le due palle metalliche che sono nell'interno del tubo, e all'istante vedrete il liquido sollevarsi nel piccol tubetto che comunica col grande in cui è accaduta la scarica. Questo cangiamento di livello che non dura che un momento, è prova della compressione prodotta nell'aria dalla scarica elettrica. È però assai difficile d' intendere che questa compressione sia causa della luce della scintilla, se si consideri quanto è grande la velocità che ha la scintilla. V'è un' esperienza di Thenard, la quale distrugge ogni ravvicinamento fra la luce elettrica e la compressione dell'aria. Egli ha provato che nell' accendilume pneumatico v'è luce prodotta, perchè il calore sviluppato colla compressione infiamma un po'di sostanza oleosa contenuta nello stantuffo; e infatti togliendo con esattezza queste sostanze che possono abbruciare, o adoperando, invece dell'aria, dei gas nei quali la combustione non si fa, quali sono l'azoto e l'acido carbonico, non si ha mai luce. Non può dunque questa compressione esser la cagione della luce elettrica.

Credo che nulla possa aggiungersi sopra questo soggetto, a quello che già vi dissi parlando della scarica attraverso a fili metallici, e del calore che vi si sviluppa.

Passo ora a discorrervi dei fenomeni prodotti dalla scintilla elettrica; ma noi farò che di tre maggiormente importanti, e comincerò dalla sua azione chimica. Molti gas capaci di combinarsi, se sono mescolati ed attraversati da una scintilla elettrica, si combinano realmente: e tale fenomeno si vede assai di leggieri sui due gas idrogene e ossigene, de' quali si compone l'acqua. Volta costruiva un recipiente di metallo a guisa di matraccio, di cui l'orifizio si chiudeva con un turacciolo di sughero. S'introduce nel recipiente un filo metallico isolato con un tubo di vetro e con ceralacca, il quale va a terminare a piccola distanza dalla parete metallica. Introducendo un po'd'idrogene nel recipiente onde si mescoli all'aria, e poi facendo saltare una scintilla su quel filo in *a* che va poi a scoccare in *b* nell'interno (*Fig.* 106), la combinazione ha luogo, si forma del vapor d'acqua, che a quell'alta temperatura è dotato di una grande forza elastica, per cui caccia lontano il turacciolo *m*, ed esplode con forza. Tale apparecchio è la *pistola* del Volta. Sopra questo principio si fonda l' andiometro, istrumento per l' analisi chimica dell'aria. È l'eudiometro un tubo di vetro, entro cui si può fare scoccare una scintilla elettrica. Se si vuol sapere quanto ossigene v'è in una data quantità d'aria, basta d' introdurla nel tubo e poi di aggiungervi il doppio del suo volume di gas

idrogene puro. Fatta passare la scintilla, si nota la porzione d' aria che è scomparsa ; e siccome si sa dalle analisi le più esatte, che 1 volume d'ossigene e 2 volumi d' idrogene si combinano per fare un volume di vapor d'acqua , è certo che nel volume scomparso e determinato coll' esperienza, v' è un terzo di gas ossigene.

Priestley e Cavendish osservarono i primi che l'ossigene e l' azoto, che sono i gas che compongono l' aria, attraversati dalla scintilla si combinano e danno l' acido nitrico. Osservate che se si fa saltare nell' aria di questo tubo un certo numero di scintille, la tintura di tornasole che poi vi si agita dentro, diviene rossa. In questo modo si spiega la presenza dell' acido nitrico e dei nitrati nelle acque dei temporali accompagnati da fulmine. Liebig ha messo fuori di dubbio la presenza di questi sali nelle acque raccolte in estate dopo i temporali , ed è certo che quella immensa scintilla che costituisca il fulmine, deve produrre nell'aria, e molto più in grande, quello stesso che produce in piccolo la scintilla delle nostre batterie.

Nè la scintilla elettrica è solamente capace di favorire la combinazione di due gas, perciocchè in qualche caso è capace di distruggerla. Per questa ragione credo io si debba attribuire l'azione chimica della scintilla a fenomeni di riscaldamento , di urto meccanico , di compressioni ec. Eccovi il quadro delle azioni chimiche di combinazioni e di scomposizioni , che la scintilla è capace di produrre.

Gas mescolati.	*Risultati della scintilla.*
Aria e idrogene.	Acqua e azoto.
Ossigene e idrogene.	Acqua.
Cloro e idrogene.	Acido idroclorico.
Ossido di carbonio e ossigene.	Acido carbonico.
Acido solforoso e ossigene.	Acido solforico.
Idrogene solforato e ossigene.	Acqua e acido fosforico.
Idrog. fosforato e ossigene.	Acido fosforico e acqua.

Gas composti.	*Risultati.*
Acido idroclorico.	Idrogene e cloro.
Acido carbonico.	Ossido di carbonio e ossigene.
Idrogene fosforato.	Zolfo e idrogene.
Ammoniaca.	Idrogene e azoto.
Idrogene carbonato.	Carbonio e idrogene.

In questi ultimi tempi Draper ha provato che l'azione chimica della scintilla elettrica avveniva in parte anche a distanza, e senza che passasse attraverso al gas : lo che proverebbe , che la suddetta azione dovrebbe attribuirsi ad una specie di radiazione chimica analoga a quella della luce solare.

Un altro effetto molto importante della scintilla è quello della fosforescenza. Vi sono corpi che lasciati all'azione della luce solare diretta, o riscaldati, hanno la proprietà di divenire luminosi emettendo luce che è di colori diversi. Oltre a questi due mezzi v'è ancora la scintilla elettrica. Il modo con cui si fa l'esperienza è quello di posare le due verghe dello scaricatore sulla superficie del corpo che si vuol rendere fosforescente. Fatta passare la scintilla nell' oscurità , se si è avuto la cura di chiudere gli occhi prima che la scintilla scocchi , si vede benissimo, dopo la scarica, illuminato il corpo , e specialmente nei punti più vicini alla strada tenuta dalla scintilla. Eccovi in questa nota alcuni dei corpi che presentano questi fenomeni.

Sostanze soggette a fosforescenza elettrica.	*Apparenze.*
Solfato nativo di barite.	Luce verde brillante.
Carbonato di barite nativo.	Id. meno brillante.
Acetato di potassa.	Luce verde brillante.
Acido succinico.	Id. di minor durata.
Zucchero in pane.	Luce verde brillantissima.
Gesso.	Id. passeggiera.
Conchiglie d'ostriche calcinate.	Colori prismatici: rosso.
Id. collo zolfo o *fosforo* di Canton.	Id.
Cristallo di rocca.	Luce rossa, indi bianca.
Borace.	Luce verde debole.

Perse al che ha molto studiato questo soggetto, ha scoperto che la scintilla elettrica rende fosforescenti dei corpi che non lo sono in nessun altro modo, e che alcuni altri dopo il passaggio della scintilla sono resi capaci di fosforescenza per mezzo del calore e della luce solare. Lo stesso Fisico ha pure osservato che il colore che certi corpi rendono, fatti fosforescenti colla scintilla, è in molti casi diverso da quello loro proprio.

È importante di decidere in qual modo agisce la scintilla elettrica nel produrre la fosforescenza, ed aggiungo quindi l'esperimento che risolve questa domanda. Copro con una lastra di vetro lo zucchero in pane che tengo sullo sgabello dello scaricatore (*Fig.* 102), e metto le punte a uno o due centimetri di distanza dal vetro. Fatta passare la scarica della batteria, osservo che lo zucchero splende di una bella luce verde, come quando la scintilla lo ha traversato. Di certo, in questo caso, lo zucchero non ha subita direttamente alcuna azione elettrica. Un'antica esperienza di Cavallo, che Becquerel e Biot hanno in questi ultimi tempi riprodotto, prova la stessa cosa. Cavallo fissava con acqua o altro liquido la polvere di fosforo di Canton nell'interno di una boccia di vetro, che poi chiudeva esattamente: faceva passare la scintilla, e vedeva illuminarsi il fosforo contenuto nell'interno della boccia. Sembra dunque molto probabile che la luce della scintilla elettrica produca la fosforescenza in questi casi, e Becquerel e Biot hanno provato che in quella luce vi sono alcuni raggi che producono la fosforescenza, ed altri che la producono assai meno. Ond' è che se la boccia di Cavallo fosse stata di vetro giallo o meglio rosso, vi sarebbe stata una fosforescenza assai debole prodotta dalla scintilla; e vi sarebbe stata maggiore se il vetro fosse stato violetto. Tuttavia non mancherò di farvi osservare, che se appena la scintilla è passata, si porta all'elettroscopio lo zucchero, sempre isolato, si hanno de'segni di elettricità positiva che a poco a poco svaniscono. E questo si osserva anche sullo zucchero separato dalla scintilla per mezzo della lamina di vetro.

Resta per ultimo a far parola dei fenomeni di trasporto di materia ponderabile operati dalla scintilla. Fusinieri ha provato che la scintilla prodotta da una forte scarica e tratta da un globo di ottone o di argento, porta seco una piccola quantità di questi metalli. Il corpo su cui la scintilla si scarica mostra le tracce del metallo trasportato dalla scarica. Fatta passare la scintilla fra due globi di metalli diversi, come d'argento e di rame, si trova una macchia di rame deposta sull'argento, e reciprocamente. Stando al detto di Fusinieri, non solo egli avrebbe osservato il metallo trasportato dalla scarica elettrica deporsi sulla superficie del corpo su cui passa, ma avrebbe di più trovato che il metallo trasportato era capace di traversare l'interno di questo secondo corpo, per venire a deporsi alla superficie opposta. Alcune esperienze poi di Pfaff non confermano questo secondo risultato. Ma non cessa già di esser molto importante il fatto di Fusinieri; perciocchè ci è per esso resa ragione delle modificazioni nel colore e nell' intensità che prova la luce elettrica. I corpi trasportati dalla scintilla in uno stato di grande divisione sono, secondo la loro varia natura, resi incandescenti o portati a vera combustione dal forte calore che accompagna la scintilla.

Probabilmente con questi principî può intendersi la formazione degli anelli elettrici di Priestley. Fatta passare la scarica della batteria fra le due punte dello scaricatore universale interponendovi una lastra ben pulita di metallo, si osserva, dopo una o più scariche, che si sono formate alcune macchie circolari intorno ai punti corrispondenti alle due punte, e che questi circoli colorati crescono, si estendono maggiormente, rinnovando le scariche. Alcuni di questi circoli, quelli del centro, sono composti di punti lucenti e di cavità che indicano una fusione superficiale; gli altri sono di una polvere nera poco aderente. È poi curioso il vedere coteste macchie concentriche, delle quali il numero e la estensione variano nei diversi metalli, succedersi alternativamente. De'quali fenomeni è molto difficile di potersi rappresentare la causa giustamente e interamente. Nondimeno diciamo che l' azione calorifica della scarica può fondere una porzione del metallo su cui passa, e ciò specialmente in quei punti in cui la scarica è la più forte e l'elettricità passa in maggior copia; che alcune delle macchie circolari possono essere per taluni metalli, come nell'acciaio, dovute all' azione del calore: si sa infatti che l'acciaio scaldato prende e conserva delle tinte superficiali. In fine, alcune di queste macchie dei fenomeni di Priestley devono attribuirsi a deposito di materie trasportate dalla scintilla.

Le tracce lasciate dal fulmine sui corpi che traversa, sui vetri, sui metalli, sui legni, mostrano bene questi trasporti. Mi ricordo di aver visto il foro fatto dal fulmine in un vaso di rame: i margini del foro erano fusi, ed intorno avevano molti anelli di color giallo ed altri neri, traversati di raggi di questi stessi colori regolarmente disposti. Anche con scintille debolissime ho ottenuto macchie di un color bigio più o meno fosche,

ricevendole sopra una lastra argentata ben pulita.

Mi piace aggiungere una parola sulla scarica, che Faraday chiama di *trasporto* (*convention, or carryng discharge*): la quale è quella che si effettua col mezzo dei corpi interposti ai due corpi elettrizzati. Caso diverso da quello che abbiamo esaminato or ora, nel quale è la scintilla che porta seco una porzione della materia ponderabile su cui si muove. In questa scarica di trasporto non v'è scintilla, e i corpi ponderabili interposti si muovono, si agitano fra i due corpi elettrizzati, e producono così la scarica. Vi ricordate, come mettendo delle palline di sambuco fra due piatti, uno elettrizzato colla macchina, l'altro in comunicazione col suolo, si fa la scarica per il saltellare fra i due piatti di quelle palline. Qualunque altro corpo leggiero produrrebbe questo effetto. Se però fra questi corpicciuoli ve ne fossero alcuni con punte, se vi fossero pezzetti di carta tagliati a triangoletti, peli, piume, si vedrebbero quei puntini fissarsi sopra il piatto inferiore che comunica col suolo, tenendo le punte rivolta all'altro piatto, e appena muoversi di poco dal loro posto. Lo stesso fenomeno avviene avvicinando una mano colla superficie coperta di peli al conduttore: la sensazione che se ne prove è dovuta al moversi, al rizzarsi di quel peli: e difatti non si ha, se si volge alla macchina quella superficie della mano che non ha peli. Il *vento* elettrico è ancora una prova di questo movimento in cui l'elettricità mette i corpi che la circondano. L'aria elettrizzata si scosta, e fugge rispinta dal corpo elettrizzato. Eccovi un tubo di vetro vuoto internamente, e lungo circa due braccia: tocco con una sua estremità il conduttore della macchina, e mentre questa agisce è tanta la corrente d'aria che esce dal suo canale interno, che può spegnere la fiamma di un cerino. Si osservano anche assai bene dei fenomeni analoghi coi vapori delle resine accese, che si fanno aviluppare in vicinanza del conduttori elettrizzati. Le nubi di fumo circondano i conduttori, se ne allontanano, s'agitano continuamente. Faraday ha osservato questi fenomeni di trasporto in un mezzo coibente liquido, immergendo l'estremità di un conduttore nell'olio di trementina contenuto in un recipiente di cristallo, nel cui fondo vi era un conduttore in comunicazione col suolo. Una goccia di acqua o soluzione densa di gomma a contatto dell'estremità elettrizzata, si disperde per tutta la massa dell'olio di trementina e intorbida tutto quel liquido.

Bagnando d'olio comune, di acqua gommosa ed anche di trementina, la palla del conduttore della macchina, ed avvicinando a questa una palla simile in comunicazione col suolo ed egualmente bagnata, si veggono ad una certa distanza quei liquidi disporsi in gocce coniche che s'allungano in filamenti, e finalmente si distaccano e saltano fra i due conduttori. Una goccia di mercurio sospesa ad una lamina amalgamata ed in comunicazione colla macchina, non soffre un sensibile cambiamento di forma. Faraday ha provato coll'esperienza che queste curiose disposizioni dei liquidi a contatto dei conduttori elettrizzati, questi loro movimenti nelle masse coibenti, non si producono operando nell'aria molto rarefatta, ciò che crede debba attribuirsi alle diminuzioni della carica elettrica che si diffonde nel mezzo rarefatto, e alla coesione del liquidi in relazione di quella del mezzo in cui si fanno. Osserva però che mentre questi fenomeni mancano pel mercurio nell'aria, hanno luogo collo stesso corpo nell'olio di trementine. In questo mezzo il mercurio elettrizzato si riduce a cono ed a punta aguzza, come fanno l'olio, l'acque gommosa e lo sciroppo nell'aria. Faraday ha avuto occasione di scorgere in queste esperienze un'altra differenza fra gli effetti delle due elettricità: la colonna d'olio di trementina che è sollevata da una palla carica di elettricità positiva, è assai più lunga e larga di quella che si solleva dalla stessa palla elettrizzata negativamente.

Operando nell'aria è difficile di poter determinare la direzione delle correnti del liquidi che bagnano i corpi, uno dei quali sia elettrizzato, l'altro in comunicazione col suolo. Nell'olio di trementina si osservano assai più distintamente queste correnti. Una goccia d'acqua all'estremità del conduttore elettrizzato immersa nell'olio di trementina, e al cui fondo siavi una goccia di mercurio in comunicazione col suolo, è trasportata sopra il mercurio.

A questo proposito descriverò ancora un curioso fenomeno, che si produce avvicinando ed una punta in comunicazione colla macchina una goccia d'olio che si tiene sopra una lamina e in comunicazione col suolo. La goccia d'olio avvicinata alla punta si dilata rapidamente, si distende, e si separa in tante piccole goccioline che si distribuiscono a circoli d'intorno alla punta. Questo stesso fenomeno si osserva se la goccia dell'olio è tenuta in comunicazione colla macchina, e vi si avvicina una punta in comunicazione col suolo. Non ho riscontrato differenza sensibile in questi due casi.

LEZIONE XLV.

Sviluppo dell'elettricità per le azioni meccaniche, cioè per la pressione, confricazione ec.

Dopo avervi parlato delle leggi delle azioni elettriche, dei fenomeni che accompagnano la scarica elettrica, per compiere l'elettro-statica resta che studiamo estesamente i diversi modi pei quali l'elettricità si sviluppa. Il che ho riserbato per ultimo, perchè dee servirci di via all'elettro-dinamica. Vedremo, a questo proposito, per quali modificazioni può la stessa sorgente produrre or l'uno or l'altro degli stati elettrici. La pressione è il processo meccanico più semplice col quale può svilupparsi elettricità: tutto si riduce, in questo processo, al contatto di due superficie, accompagnato da un certo grado di pressione, e alla successiva separazione delle due superficie premute. Epino osservò il primo questa proprietà premendo l'una contro l'altra due lamine di vetro, e separandole senza confricarle. Ma l'esperienza più conchiudente per provare che la pressione svolge l'elettricità indipendentemente da qualunque confricazione, è dovuta a Libes. Eccovi un disco metallico che calco contro uno strato di taffettà verniciato: sollevo il disco, lo porto all'elettroscopio, e lo trovo carico d'elettricità negativa. Se prima di distaccarlo lo avessi confricato, lo avrei trovato carico d'elettricità positiva. Haüy scoprì in seguito che lo spato d'Islanda e alcune altre sostanze minerali si elettrizzavano assai facilmente colla sola pressione fra le dita. La qual proprietà condusse il dotto Mineralogista a costruire un elettroscopio (*Fig.* 115) assai sensibile. Quest'apparecchio è un ago mobile intorno ad un pernio, e che ha ad un'estremità un cristallo Q di carbonato di calce o spato d'Islanda. Si comprime questo cristallo fra le dita: prende l'elettricità positiva per questa pressione, e la conserva molto tempo. In altri corpi questa proprietà persiste lungamente, e Haüy la introdusse fra i caratteri che possono distinguere una sostanza minerale dall'altra. Becquerel ha studiato estesamente le circostanze secondo le quali varia lo sviluppo d'elettricità per pressione; l'apparecchio particolare adoperato da questo illustre Elettricista gli offriva modo di variare gradatamente le pressioni a cui assoggettava i due corpi, e di separarli più o men presto l'uno dall'altro. Ecco i risultati ai quali egli è giunto. Due corpi di natura diversa premuti l'un contro l'altro e in seguito rapidamente separati, si trovano carichi d'elettricità contraria. Se i due corpi premuti l'un contro l'altro sono cattivi conduttori, o, se buoni, purchè siano isolati, bisogna premerli l'un contro l'altro e poscia separarli, perchè l'elettricità contrarie si manifestino dopo il distacco sopra ognuno di loro coi segni ordinari. Se uno solo dei due corpi non isolati è cattivo conduttore, questo solo si trova elettrizzato al distacco. In fine se i due corpi premuti sono buoni conduttori e non isolati, qualunque sia la pressione, non si scorge mai, cogli elettroscopi comuni, che vi si sviluppi elettricità. Da due circostanze principali dipende la quantità d'elettricità sviluppata dalla pressione, e sono queste: 1.° il grado di pressione che hanno subito, 2.° la velocità con cui son separati i due corpi. Allorchè si separano con una rapidità costante, l'elettricità sviluppata si trova proporzionale alla pressione sofferta. Se questa pressione è la stessa, e invece i due corpi si separano più o meno rapidamente, l'elettricità che rimane su i corpi separati è tanto minore, quanto più lentamente si è fatta questa separazione. L'elettricità che rimane sui due corpi per la separazione, si conserva tanto più lungamente, quanto più è debole la loro conducibilità.

Il calore influisce grandemente sopra questi fenomeni. Così lo spato d'Islanda che prende colla pressione l'elettricità positiva, acquista nelle stesse circostanze di pressione l'elettricità negativa, se si riscalda precedentemente. In generale due corpi della stessa natura ed egualmente caldi, premuti l'un contro l'altro, non trovansi elettrizzati allorchè si separano; ma se uno dei due è più caldo dell'altro si elettrizzano per la pressione, e quello dei due che è più caldo trovasi elettrizzato negativamente. Tenete nota di questo fatto, posciachè più innanzi avremo occasione di generalizzarlo.

Importa, nell'osservare questi fenomeni della pressione come sorgente d'elettricità, di ridurre la superficie dei corpi più asciutta che sia possibile; senza di che l'elettricità si disperde nel separarli. Becquerel ha costantemente adoperato, nelle sue sperienze, uno dei due corpi molto compressibile; perciò si è servito di lamine di sughero, di midolla di sambuco, di gomma elastica, di scorza d'arancia, che teneva isolate con manichi di gomma-lacca.

Sono ora condotto naturalmente a parlarvi degli effetti elettrici che si mostrano nel distaccare l'una dall'altra le parti dei

corpi cristallizzati. Se sopra una lamina di mica si fa nell'oscurità e rapidamente questa separazione, cavandone due lamine sottilissime, si osserva uno splendore che dura pochi momenti. In questo caso si trova che v'è sviluppo d'elettricità. Ecco in qual modo si dispone l'esperienza: si applicano due manichi di ceralacca sopra le due facce di una lamina di mica, di talco del S. Gottardo, di calce solfata calcinata, e tirando per i due manichi, si giunge a separarne due lamine che si trovano cariche d'elettricità contraria. Lo sviluppo d'elettricità in questo modo ottenuto non è soggetto ad alcuna legge; non v'è alcun rapporto fra la specie d'elettricità che prende la lamina nel separarsi, e la sua posizione nel corpo cristallizzato. Ma è ben singolare che anche una carta raddoppiata e bene asciutta presenta, allorchè si separano i due fogli, gli stessi fenomeni della mica e della calce solfata. Ed io non so già non vedere in cotesto sviluppo d'elettricità qualche cosa d'analogo alla pressione o alla confricazione; è di fatto impossibile di separare due corpi l'uno dall'altro, ritenuti da un certo grado di aderenza e di coesione, senza che vi sia o l'uno o l'altro di questi due modi in azione. Se si premono le due facce d'una lamina di mica o di calce solfata, dopo averle distaccate nel modo che ho detto riprendono per la sola pressione la stessa elettricità che hanno mostrato nel separarsi. Qui però si vuol osservare, che giammai si ha sviluppo d'elettricità rompendo tubi di vetro, di gommalacca ec. sicchè converrà ammettere che v'è per condizione di questi fenomeni una regolare cristallizzazione nelle sostanze che li producono.

Deve altresì attribuirsi alla pressione e alla confricazione l'elettricità che si trova nello zolfo distaccato dallo stampo di vetro in cui fu colato essendo liquido. Il cioccolatte, l'acido borico, il protocloruro di mercurio solidificati sopra un piano di vetro si rinvengono elettrizzati allorchè si distaccano. Non lascerò fuggire questa occasione senza dirvi una parola dell'ingegnosa applicazione fatta da Becquerel, di questo modo di sviluppare l'elettricità alla spiegazione della fosforescenza che alcuni corpi mostrano col calore. Quando si ammetta che le due facce prossime di due cristalli di un corpo si elettrizzano pel solo atto del distaccarsi, potrebbe bene ammettersi che il calore dilatando questo corpo, separando le facce delle sue molecole o gruppi cristallini, elettrizzi queste facce di elettricità contraria. Le due elettricità separate dal riscaldamento, nel ricombinarsi, nel rimettersi allo stato naturale produrrebbero una specie di scarica luminosa. La spiegazione è ingegnosa, qualora sia esatto il fatto su cui si fonda quando cioè sia ben provato che v'è sviluppo d'elettricità per il *solo sfogliarsi* del corpo cristallizzato.

Vi dirò infine dello sviluppo d'elettricità per confricazione. Tutti i corpi, come già dicemmo, e provammo colla esperienza, si elettrizzano in questo modo, ma non tutti in egual grado; ed importerebbe di stabilire le leggi per le quali avviene questo sviluppo. Comincerò dal parlarvi dell'influenza della varia natura dei corpi. Il caso in cui sembra questo sviluppo d'elettricità accadere assai debolmente, è quello di due corpi buoni conduttori confricati insieme: è assai difficile di riconoscere, cogli elettroscopi ordinarî, questo sviluppo per la confricazione di due masse metalliche. Becquerel, adoperando un istrumento che esteesamente descriveremo più innanzi o che serve per scoprire la presenza delle correnti elettriche, è riuscito a mostrare che la confricazione fra due metalli serve ad elettrizzarli. Confricando insieme due metalli, uno dei quali sia ridotto in limatura assai fina, si rende sensibile lo sviluppo d'elettricità cogli elettroscopi comuni. Becquerel, scopritore di questo fatto, fa cadere la polvere metallica sopra una lamina pur metallica inclinata, che tiene colla mano; da questa lamina passa la limatura in una cassula unita ad un elettroscopio comune a foglie d'oro. In generale si trova che la limatura che ha strisciato sopra una lamina dello stesso metallo ha preso l'elettricità negativa. Questo effetto è tanto maggiore, quanto più la polvere è fina e rapido il movimento sulla lamina. L'antimonio solo fa eccezione alla regola; la sua limatura, strisciando sopra una lastra dello stesso metallo si elettrizza positivamente. L'azione del calore in questo modo di sviluppare l'elettricità agisce nello stesso senso che vi ho fatto notare a proposito della pressione. Adoperando lamine e polveri metalliche di diversa natura, e riscaldando questa limatura o sola o con la lamina, essa diviene maggiormente carica d'elettricità negativa se così si mostrava alla temperatura ordinaria, e può anche invertirsi se primitivamente si rendeva positiva. Per la buona conducibilità di questi corpi convien ricorrere ad un tale processo, quando si voglia scorgere l'elettricità che sviluppano per confricazione.

Usando l'istrumento che mostra le correnti elettriche, si hanno dalla confricazione dei metalli segni ben distinti di svi-

luppo di elettricità. Si potrebbe credere che lo sviluppo d'elettricità in tal modo, fosse in seguito del riscaldamento che si svolge per l'attrito, e che vedremo esser sorgente di elettricità. Ma si prova bene che la sola confricazione dei due metalli sviluppa elettricità indipendentemente dal calore. Vi son molti fatti trovati da Becquerel e da Gherardi, i quali mostrano che gli stati elettrici acquistati da due metalli per confricazione sono opposti a quelli che vi si sviluppano per riscaldamento.

Le elettricità contrarie sviluppate per confricazione sui due metalli non possono rimaner separate per la buona conducibilità di questi, ed è perciò che non giungono mai a tanta tensione da rendersi sensibili all'elettroscopio. La poca conducibilità delle limature e la rapidità con cui scorrono sulla lamina, possono spiegarci perchè conservano l'elettricità sviluppata dalla confricazione loro sulle lamine.

La confricazione di due corpi cattivi conduttori e quella di un cattivo con un buon conduttore, sono il mezzo più comunemente adoperato per sviluppare in copia l'elettricità. Sarei troppo lungo s'io volessi ora esporvi minutamente l'infinito numero di risultati ottenuti, quanto alla natura dell'elettricità sviluppata per confricazione, variando la natura dei due corpi confricati. Ciò che si può stabilire di più generale in tanta varietà di fenomeni si riduce a questi risultati: 1.° la pelle di gatto vivo si elettrizza positivamente confricata con tutte le altre sostanze sin qui tentate; 2.° il vetro lustro si elettrizza positivamente con tutte le sostanze sin qui tentate, fuorchè colla pelle di gatto, e col mercurio in certe condizioni; 3.° il vetro appannato è positivo coi corpi resinosi, collo zolfo, coi metalli, ed è negativo coi drappi di lana, colla carta e colla mano; 4.° la cera di Spagna è positiva con molti metalli, e negativa col ferro, col bismuto, coll'acciaio ec., colla mano, colla carta, colla lana e col cuoio; 5.° i corpi resinosi son sempre negativi con quei non resinosi.

Vi dirò qualche cosa di più particolare sull'elettricità sviluppata dalla confricazione del mercurio. Dessaigues ci ha dato un esteso lavoro sopra questo soggetto: i risultati sono però così strani e singolari, che è troppo difficile di poter determinare per quali cagioni siansi prodotte tante variazioni. Il fatto è che un gran numero di corpi, cioè zolfo, vetro, ambra, ceralacca, carta, lana, cotone ec., si elettrizzano immersi nel mercurio. È grande l'influenza della temperatura del corpo immerso e del mercurio sopra lo sviluppo dell'elettricità, e sulla natura dell'elettricità sviluppata. In fatti a eguale temperatura del vetro e del mercurio non v'è sviluppo d'elettricità nell'immersione. Si elettrizza positivamente il vetro se la sua temperatura è poco più elevata di quella del mercurio; si elettrizza negativamente se la differenza di temperatura è assai grande. Spingendo molto questo riscaldamento si estingue ogni elettrizzazione. Pare che per ognuno dei corpi citati che si elettrizzano immergendogli nel mercurio, vi sia una temperatura tanto bassa alla quale non v'è elettrizzazione, una più elevata alla quale comincia, e una più elevata ancora alla quale cessa di nuovo. Ma io non mi dilungherò di più nella descrizione di questi fenomeni. I quali stimo che si convenga studiarli nuovamente, tenendo più a conto l'influenza della conducibilità e delle variazioni di questa proprietà per il diverso riscaldamento. Tuttavolta voglio ancora mostrarvi un modo curioso di sviluppare l'elettricità con la confricazione del mercurio. Se si empie di mercurio un borsellino di pelle di camoscio, e quindi si comprime, la pioggia di mercurio che ne vien fuori è fortemente elettrizzata negativamente.

Anche l'aria ed i gas confricati contro un corpo solido sviluppano elettricità. Se agito un pezzo di seta nell'aria e poi l'avvicino all'elettroscopio, lo trovo elettrizzato negativamente: lasciando entrare istantaneamente dell'aria in vasi dentro a cui si trovino sostanze coibenti, vi si produce un debole lampo, che il Beccaria provò essere prodotto da elettricità sviluppata. In questo modo può darsi spiegazione della luce che in qualche caso accompagna la scarica del fucile pneumatico.

Non lascerò questo soggetto senza insistere sulla circostanza più generale dalla quale sembra derivare la separazione delle due elettricità in due corpi confricati insieme. Sia che si esamini lo stato molecolare delle due superficie che si confricano, la loro relativa estensione, la loro relativa temperatura, si può concludere *che il calore dispone i corpi ad acquistare per confricazione l'elettricità negativa*. Due corpi della stessa natura, due nastri bianchi di seta confricati in croce, a modo che una stessa porzione di superficie dell'uno scorra successivamente sopra le diverse parti dell'altro, s'elettrizzano in guisa, che quello dei due nastri che fu strofinato sopra una sola porzione della sua superficie e che quindi soffrì uno strofinamento più forte, ha preso l'elettricità negativa. Questo fatto si riduce nel fatto generale che ho stabilito, ammettendo, co-

me è naturale, che il corpo più confricato sia pure il maggiormente riscaldato. Potremmo anche limitarci a dire che *quello dei due corpi di cui le parti soffrono un maggiore allontanamento dalla loro situazione d'equilibrio, si elettrizza negativamente.* I corpi di cui la superficie è scabra, tendono generalmente ad elettrizzarsi negativamente, e anche in questo caso vedesi l'analogia col fatto generale. Il vetro liscio, che è il corpo più atto ad elettrizzarsi positivamente colla lana, prende l'elettricità negativa allorchè ha perduto il suo liscio. Basta di smerigliare un tubo di vetro perchè si ottenga elettrizzato negativamente colla confricazione con un vetro lustro. V'è però in natura un corpo cristallizzato, la *distene*, che presenta la singolare proprietà di prendere l'elettricità positiva sopra alcuni punti della sua superficie, e la negativa sopra altri. Se prima di confricare insieme due corpi della stessa natura se ne riscalda uno, il riscaldato si elettrizza sempre negativamente confricato coll'altro. Un bastone di ceralacca scaldato e poi confricato con un bastone simile lasciato freddo, prende l'elettricità negativa. Il quale effetto del calore giunge sino ad invertire l'ordine dell'elettricità sviluppata: così se si strofina una striscia di lana bianca riscaldata contro un metallo ben liscio, si elettrizza in meno finchè è calda, e dà segni d'elettricità positiva dopo che è divenuta fredda.

Ci rimane ad esaminare l'influenza della pressione, della velocità, e delle altre circostanze nella produzione dell'elettricità per confricazione; perocchè sin qui non abbiamo tenuto conto che della varia natura dei due corpi confricati. Dobbiamo ad una serie di ricerche assai ben fatte di Peclet tutto ciò che noi sappiamo sopra un tale soggetto. Questo Fisico ha osservato che confricando un cilindro di vetro con diversi corpi, colla carta, colla carta coperta di rame, d'argento, d'oro, con foglie di stagno, con stoffe di seta, di lana ec., la tensione dell'elettricità sviluppata cresce per un certo tempo, in generale assai breve, dopo del quale rimane costante. Questa tensione è varia coi diversi corpi adoperati per confricare il vetro. Facendo variare la velocità con cui il cilindro ruota, Peclet ha trovato che la tensione dell'elettricità sviluppata sul vetro rimane costante; e questa permanenza sussiste, nelle esperienze di Peclet, per delle velocità comprese fra i numeri 1 ed 8; purchè però il corpo confricato comunichi bene col suolo, e che il vetro sia costantemente scaricato della elettricità sviluppatavi, a modo che quella che mostra provenga sempre dalla sola ultima confricazione. Caricando Peclet una bottiglia coll'elettricità sviluppata sul cilindro di vetro, ha trovato che qualunque fosse la velocità di rotazione, la bottiglia si scaricava costantemente dopo lo stesso numero di rivoluzioni; ciò che prova bene che la quantità d'elettricità prodotta in *un dato tempo* è proporzionale a questa velocità. Facendo variare la pressione del corpo confricatore sul cilindro di vetro, Peclet ha trovato con un gran numero di esperienze, che questa pressione era senza influenza sulla tensione dell'elettricità sviluppata. Si sarebbe potuto attendere, in queste ricerche, di trovare alcune differenze dovute al più o men grande sviluppo di calore; ma egli è probabile che nelle ricerche di Peclet questo calore sviluppato sia stato assai piccolo, e che siasi egualmente distribuito su i due corpi. Ci rimane a conciliare questi risultati con quelli di Becquerel, in cui è tanta l'influenza della pressione sull'elettricità sviluppata. La spiegazione di questa differenza mi sembra assai facile. Becquerel non ha operato che su corpi molto elastici e compressibili, come sono il sughero e la midolla di sambuco, e sotto grandi pressioni. In questi casi gli accrescimenti di pressione sono accompagnati da un grande aumento nel numero e nella estensione dei punti di contatto: alla qual circostanza devesi attribuire l'avere Becquerel trovato lo sviluppo dell'elettricità proporzionale alla pressione. Peclet, invece, opera sopra corpi poco compressibili, com'è la carta nuda o coperta di lamina metallica. D'altronde essendo accresciuti colla pressione i punti di contatto, è evidente che la pressione reale sofferta da ognuno di questi punti diminuisce col loro numero, e non puossi perciò dai risultati di Becquerel stabilire la relazione fra la pressione e l'elettricità sviluppata, senza prima ridurre le pressioni ad una costante estensione di superficie *realmente in contatto.* Peclet ha pur variato la curvatura del cilindro, il modo della confricazione, facendo ora strisciare, ora ruotare i due corpi l'uno contro l'altro, e da tutte queste esperienze conclude quel Fisico, che la tensione dell'elettricità sviluppata per confricazione, in qualunque modo si faccia, è indipendente dalla pressione e dalla velocità; che la quantità dell'elettricità sviluppata è proporzionale alla velocità, qualunque sia la pressione; e che tutte le anomalie che possono mostrarsi, si spiegano facilmente per la imperfetta conducibilità del confricatore, per le variazioni di forma che la pressione fa provare ai corpi, e

infioe pel calore sviluppato e ineguelmente distribuito.

Rimaneva a studiarsi l' influenza della natura del mezzo gassoso in cui la confricazione si fa. Wollaston aveva annunciato, che una macchina elettrica non sviluppava elettricità trovandosi in un' atmosfera d' arido carbonico; e ravvicinando questo fatto a quello dei vantaggio che si ha a coprire i cuscini della macchina con materie facilmente ossidabili, il celebre Fisico inglese era portato a credere che l'elettricità sviluppata per confricazione avesse un'origine chimica. Peclet ha ripetuto quest'esperienza con esattezza, ed ha trovato che il risultato di Wollaston era inesatto, e dovuto forse all' imperfetto disseccamento del gas adoperato. Adunque, qual che si sia cotesto gas, la tensione e la quantità d'elettricità sviluppata per confricazione ne sono indipendenti.

Riassumiamo in poche parole le circostanze generali che producono lo sviluppo dell' elettricità per confricazione, e quelle che modificano questo sviluppo.

1.° Tutti i corpi si elettrizzano per confricazione:

2.° Di due corpi confricati insieme, prende sempre l'elettricità negativa quello di cui la temperatura è maggiore:

3.° La velocità, la pressione, e il modo di confricazione essendo senza influenza sullo sviluppo dell'elettricità, convien concludere che la direzione e l' intensità del movimento che anima le molecole spostate dalla confricazione son pure senza influenza:

4.° A due condizioni sole convien soddisfare, perchè lo sviluppo d'elettricità per confricazione avvenga: *contatto dei due corpi*, *separazione successiva di questi due corpi*: coi primo le due elettricità si sviluppano, per la seconda si rendono libere sui due corpi.

Si è scoperto ultimamente un caso singolare di produzione d'elettricità per confricazione. Armstrong ottenne scintille fortissime avvicinando un dito alla colonna del vapore che esciva dall'orifizio della valvula di sicurezza di una caldaia a vapore presso Newchastle. Armstrong stesso, e poscia Faraday, hanno provato che obbligando il vapore a traversare un tubo di sostanza isolante, terminato con altro tubo metallico munito di *robinet*, il vapore esciva carico d'elettricità positiva, mentre la caldaia non era più carica d'elettricità negativa, come invece si trovava quando era in comunicazione col tubo metallico. In luogo della caldaia si trova, nella disposizione suddetta, elettrizzato negativamento il tubo metallico. Se si stabilisce la comunicazione metallica fra la caldaia e il *robinet*, allora la caldaia s'elettrizza negativamente. Non è dunque nella caldaia che si genera l' elettricità, ma è nel tubo per cui esce il vapore, che questo sviluppo avviene. La caldaia è naturalmente isolata dal suolo per la cattiva conducibilità dei materiali che costituiscono il fornello. I suddetti Fisici hanno stabilito, non accadere lo svolgimento d'elettricità che allorquando il vapore si forma sotto una grande pressione; nel qual caso il getto del vapore esce mescolato a molte gocce d'acqua. Dal che conchiude Faraday che l'elettricità è prodotta dalla confricazione dei globetti d'acqua trasportati rapidamente dal vapore contro le pareti del tubo o della caldaia. È curioso il vedere che basta una piccolissima quantità di sale o d'acido aggiunta all'acqua, per far cessare ogni fenomeno elettrico; mentrechè poco olio di trementina o d'uliva rovesciano gli stati elettrici. Armstrong confrontando una macchina elettrica ordinaria con una caldaia a vapore, ha trovato che mentre si avevano, in date circostanze eguali per la macchina elettrica come per la caldaia, ventinove scariche per minuto dalla macchina elettrica, se ne avevano dugentoventi almeno dalla caldaia. Questo risultato proverebbe tutta l'utilità che potrebbe trarsi sostituendo alle macchine elettriche ordinarie una caldaia a vapore convenientemente disposta. Fa duopo però osservare, che lo sviluppo d'elettricità è intermittente coi mezzo della caldaia, giacchè bisogna di tanto in tanto rinchiudere la valvula, e aspettare che il vapore riprenda la tensione perduta.

LEZIONE XLVI.

Sviluppo d'elettricità per contatto.—Teoria della forza elettro-motrice di Volta.—Pila di Volta. — Corrente elettrica.

La sorgente d'elettricità di cui vi parlerò oggi, è quella trovata dal nostro Volta. Stando al piano che mi sono proposto non vi darò la storia di questa scoperta, la più grande che siasi fatta in Fisica, dopo quelle di Galileo e di Newton. Per altro mi è duopo mostrarvi, più distesamente che mi sarà consentito, in che consista la scoperta stessa. Eccovi due dischi (*Fig.* 118) Z ed R, l'uno di zinco l'altro di rame, muniti di un

manico di vetro verniciato di gomma-lacca, e quindi ben isolati. Accosto l'uno all'altro i due dischi, li tocco insieme, poi li separo, e ne porto uno al piatto collettore di un condensatore. Se rinnovo queste operazioni mettendo ogni volta i due piatti allo stato naturale prima di toccarli insieme, a porto al condensatore sempre lo stesso disco, trovo che dopo un certo numero di contatti il condensatore è elettrizzato. Se il disco che ho toccato col condensatore è quello di rame, veggo il condensatore carico d'elettricità negativa; se il disco è quello di zinco, lo trovo carico d'elettricità positiva. I segni d'elettricità sono deboli, ma pur sensibili abbastanza. Eccovi un'altra esperienza di Volta. Osservate questa lamina doppia (*Fig.* 119) che è fatta d'una lastra Z di zinco riunita a contatto con una lastra R di rame. Prendo in mano la lastra di zinco e fo che comunichi col suolo, per lo che giova di inumidire le dita: l'esperienza nulladimeno riesce anche colla conducibilità propria delle dita. Allora tocco colla porzione di *rame* di questa lastra composta il piatto collettore del condensatore, che è pure di rame. Dopo uno o due contatti il condensatore dà segni d'elettricità negativa. Fo l'esperienza in un altro modo. Tengo il rame colla mano, e tocco il piatto collettore colla porzione *zinco* della lastra: anche dopo molti contatti, non riesco ad elettrizzare il condensatore. Se però invece di toccare *direttamente* il piatto collettore collo zinco della lastra, metto sopra il piatto una carta leggermente umida, un pezzo di legno verde, un corpo qualunque che non sia di metallo, ma che debolmente conduca, e lo tocco collo zinco, allora dopo uno o due contatti, il condensatore è carico d'elettricità positiva. Posso anche variare l'esperienza in un altro modo: prendo due dischi, uno di zinco l'altro di rame, coperti sopra una loro faccia di uno strato di vernice a guisa di due piatti di un condensatore, e tenuti isolati con due manichi di vetro. Per mezzo di due appendici, una di rame e una di zinco, unite ai rispettivi dischi, li metto a contatto tenendoli nello stesso tempo a contatto colle loro superficie verniciate. Anche in questo modo, dopo varî contatti, trovo i due dischi elettrizzati; negativamente quello di rame, positivamente quello di zinco.

Costruendo quei dischi, o la lastra doppia che abbiamo descritto, con diversi metalli, cioè rame, stagno, argento, oro ec., purchè i due metalli che si mettono a contatto sieno diversi, si producono sempre gli stessi fenomeni che abbiamo visto accadere collo zinco e col rame.

Veggiamo ora come Volta interpretò i fatti. Userò delle parole di questo Sommo. *Nasce*, così egli, *nel contatto mutuo dei due diversi metalli una forza, un niso, per cui l'uno dà del fluido elettrico, l'altro lo riceve*, l'uno s'elettrizza positivamente, l'altro negativamente. La forza *elettro-motrice* nata al contatto dei due metalli eterogenei separa le due elettricità, ne impedisce la riunione; e siccome questi due corpi, oltre essere elettro-motori sono anche conduttori dell'elettricità, *non sì tosto*, seguito a dirvi con Volta, *hanno acquistato qualche tensione elettrica, che richiamano o sollecitano le due elettricità all'equilibrio. Or dunque da queste due forze opposte dee venire costituito un maximum, ossia un limite* alle due elettricità accumulate nei due metalli. Se si rappresenti con (+ 1) l'elettricità positiva dello zinco, con (— 1) l'elettricità negativa del rame, la differenza (2) dello stato elettrico di questi due corpi è una quantità costante, che serve di misura alla forza elettro-motrice; è questa la quantità massima di stato elettrico dei due corpi che la forza elettromotrice può mantenere, impedendo la tendenza ordinaria delle due elettricità a riunirsi. Questa forza elettro-motrice è permanente, è istantanea, non cessa mai di agire, e produce il suo massimo effetto in un istante infinitamente piccolo. Se uno dei metalli che sono a mutuo contatto comunica col suolo, essendo l'altro isolato, si ridurrà il primo allo stato naturale, e non cesserà la forza elettro-motrice di agire, sinchè l'altro non sarà carico di una quantità (2) di elettricità che sarà positiva o negativa, secondo che questo piatto isolato sarà di zinco o di rame. S'intende facilmente come col condensatore si aumentino questi effetti allorchè si adoperano i due dischi isolati, o meglio la lamina doppia. Ad ogni contatto col piatto collettore s'accumula in questo una porzione della stessa elettricità, e la forza elettro-motrice riproduce sempre le stesse cariche. Toccando il piatto collettore colla porzione rame della lastra doppia, mentre lo zinco è tenuto in mano e comunica col suolo, dovendo quel piatto che tocca il rame prendere, per la forza elettro-motrice, la stessa tensione che ha il rame, seguiterà per effetto del condensatore ad accumularvisi sopra l'elettricità negativa sinchè e il rame e il piatto collettore abbiano *libera* quella quantità d'elettricità negativa che è dovuta alla forza elettro-motrice della coppia. Per la comunicazione col suolo non cessa mai la forza elettro-motrice di mantenere nel rame la carica (— 2). Allorchè la porzione

zinco della lamina doppia tocca il piatto collettore di rame, mentre la porzione rame è tenuta in mano e comunica col suolo, mancano gli effetti della forza elettro-motrice, perchè, torno a dirvi con Volta, *la lamina zinco si trova in mezzo a due forze elettro-motrici eguali dirette in senso opposto*, ossia l'una contro l'*altra*, *le quali si elidono per conseguenza*. Conviene perciò interporre fra la porzione zinco della lastra doppia e il piatto collettore di rame un corpo conduttore e non elettro-motore, scelto fra quelli che Volta chiama *conduttori di seconda classe*. In questa seconda classe colloca Volta i corpi liquidi, l'acqua pura, le soluzioni saline, acide, i legni umidi ec. Interponendo questo corpo, l'elettricità positiva dello zinco si accumula nel piatto collettore. Volta distinse i corpi in conduttori *di prima classe* o *perfetti elettro-motori*, e sono questi i metalli; e in conduttori di *seconda classe* o *imperfetti elettro-motori*. Il contatto di questi secondi sviluppa una forza elettro-motrice assai più debole di quella che si sveglia nel contatto dei primi, e quindi non può distruggerne gli effetti: servono questi secondi a condurre l'elettricità sviluppata dagli elettro-motori perfetti o di prima classe. Non è poi eguale l'intensità della forza elettro-motrice in tutti i metalli; per alcuni è maggiore che per altri. Due dischi di zinco e di rame prendono due stati elettrici contrari più forti di quelli che prendono due dischi d'argento e d'oro.

Immaginate ora di mettere le due estremità di una lastra doppia zinco e rame in un liquido, di *chiudere il circolo*, ed avrete all'istante una continua circolazione d'elettricità. Nei punti in cui i due metalli si toccano direttamente la forza elettro-motrice conserva, riproduce sempre la stessa differenza di stati elettrici, che poi è continuamente distrutta dal liquido o conduttore di seconda classe. Nei primi le due elettricità si producono, si separano; nel secondo le due elettricità si riuniscono. Ecco come si esprime Volta: *la forza elettro-motrice, se il circolo è compiuto per mezzo di conduttori umidi, produce una corrente, un giro continuo di fluido che va dal metallo negativo al positivo, e da questo per la via del conduttore umido ritorna al negativo per ripassare nel positivo ec.* Notate che Volta ragiona nella ipotesi di un solo fluido, ed ammette perciò che l'elettricità positiva spinta nello zinco per la forza elettro-motrice si rimette in equilibrio tornando al rame per il liquido: questa direzione assegnata dal Volta, è quella generalmente adottata. Eccovi la famosa coppia voltiana di prim'ordine, la quale consiste in due metalli diversi che si toccano direttamente in alcuni punti, e in alcuni altri per l'intermedio di un liquido: eccovi con questa la corrente elettrica a cui si dà generalmente la direzione che il Volta ha ammesso, fondandosi sulla teoria elettrica di un solo fluido, e perciò si dice che è diretta nel liquido dal metallo positivo al negativo.

Parlandovi della scarica della bottiglia, in cui, stando ai principi di questa stessa ipotesi, si dovrebbe ammettere che la scarica avvenisse dall'armatura interna positiva all'esterna negativa, vi ho mostrato qual valore si debba dare ad una tale conseguenza, e in qual altro modo, più d'accordo coi molti fatti della scienza può rappresentarsi la scarica. Quegli stessi ragionamenti s'applicano di necessità alla corrente. Ma di questo ci occorrerà di dover parlare ancora a luogo. Intanto non cesseremo di supporre nella corrente la direzione supposta dal Volta, per indicare così qual è dei due metalli che s'elettrizza positivamente, quale è quello che s'elettrizza negativamente. Il fatto è, ed è grande, immenso nelle sue conseguenze, che due metalli diversi riuniti in alcuni punti, e separati in altri da un liquido, formano un circuito percorso *continuamente* da una scarica elettrica. Volta diceva che *il fluido elettrico è messo in corrente ogni qualvolta uno o più conduttori continui di seconda classe s'interpongono a due di prima classe diversi fra loro, e coi corpo che combaciano.*

Adoperando due liquidi diversi, e un sol corpo conduttore di prima classe, come sarebbe argento, e un solfuro alcalino e un liquido acido Volta trovò che anche in questo caso la forza elettro-motrice si sviluppava, e che era prodotta la corrente; chiamò coppia di second'ordine questa disposizione.

Risovvenitevi in qual modo io vi distinsi, sin dal primo giorno che vi parlai d'elettricità, i fenomeni elettro-statici da quelli della corrente elettrica. Vi dissi allora che l'azione sull'ago calamitato, la decomposizione chimica, il riscaldamento, l'azione sugli animali ec. erano i caratteri di questo modo d'essere, d'agire dell'elettricità. Eccovi una coppia voltiana, zinco e rame, immersa nell'acqua comune; il filo metallico per cui i due metalli sono a contatto è collocato parallelamente ad un ago calamitato. Appena il circuito è chiuso, ciò che si fa o immergendo le lastre nel liquido, o congiungendo l'estremità metalliche interrotte in un punto qualunque, l'ago

calamitato è deviato dalla sua posizione, portato in un'altra in cui persiste sinchè il circuito è chiuso, sinchè la corrente persiste. Questo filo tenuto a poca distanza da un ago calamitato in direzione parallela ai medesimo collocato sopra o sotto di lui, costituisce uno degli strumenti i più delicati che la Fisica possegga onde scoprire la corrente elettrica, e chiamasi *Galvanometro* o *Moltiplicatore*. Più innanzi vi esporrò estesamente la teoria di un tale apparecchio. Per ora mi basta di avervi mostrato che si fonda sopra un'azione costante della corrente elettrica: aggiungerò ancora che la deviazione dell'ago calamitato è in un determinato rapporto colla direzione che abbiamo supposto nella corrente. In una parola: la deviazione dell'ago, il senso in cui questa si fa, ci serve a stabilire la disposizione dei due metalli che compongono la coppia, e perciò ad indicarla in quei casi in cui lo ignoriamo. Senza vedere la coppia sappiamo dal senso della deviazione qual'è la lastra negativa, quale la positiva della medesima, qual'è il punto del sistema elettro-motore che funziona come zinco, quale quel che funziona come rame.

Se invece di congiungere le lamine di rame e di zinco della coppia voltiana con un filo di rame onde far agir la corrente sopra l'ago calamitato, adopero un filo di platino assai sottile, e lungo due o tre linee, il passaggio della corrente è indicato dal riscaldarsi del filo, dal farsi rovente. Finchè il circuito sta chiuso il riscaldamento non cessa.

Lo stesso potrei dirvi degli altri fenomeni della corrente elettrica.

Ora che conosciamo i fenomeni generali dello sviluppo dell'elettricità per contatto, che abbiamo esposta la teoria della forza elettro-motrice di Volta, dobbiamo vedere come gli effetti di questa forza possono ingrandirsi, variarsi in tanti modi. Saremo di qui condotti a dar la teoria dell'istrumento più celebre che la Fisica abbia mai acquistato, e che porta il nome del suo inventore.

Il ragionamento che condusse Volta a questa scoperta, era fondato interamente sulla ipotesi che la forza elettro-motrice di una coppia rame e zinco non fosse punto alterata, supponendo di dare a questa coppia, come ad un corpo conduttore qualunque, una certa carica di elettricità positiva, o negativa.

Torniamo a memoria i principi della teoria della forza elettro-motrice: una coppia di rame e zinco isolata, si elettrizzi in modo che sulla lamina zinco vi sia $(+1)$ di elettricità positiva, (-1) di elettricità negativa sulla lastra di rame. La differenza (2) dello stato elettrico di questi due corpi a contatto è costante; è la misura della forza elettro-motrice. Date a questo sistema una quantità di elettricità, qualunque essa sia: Volta ha ammesso che questa elettricità comunicata si distribuiva sui due corpi come sopra un corpo conduttore qualunque; che l'effetto della forza elettro-motrice non era per nulla alterato; che fra i due corpi sussisteva sempre quella differenza negli stati elettrici che misura la forza elettro-motrice. Così se alla nostra coppia isolata in cui v'è $(+1)$ di elettricità positiva sullo zinco, (-1) di elettricità negativa sul rame, daremo una quantità $2n$ d'elettricità positiva, togliendola da una sorgente qualunque, gli stati elettrici saranno $(n+1)$ sullo zinco, $(n-1)$ sul rame, di modo che la differenza dello stato elettrico sui due corpi sarà sempre (2), cioè quel numero costante che serve di misura alla forza elettro-motrice. L'equilibrio elettrico esiste sempre, secondo i principi di Volta, fra due lamine di rame e di zinco a contatto allorchè la differenza fra i loro stati elettrici è eguale alla forza elettro-motrice: se queste lamine sono separate da un conduttore non elettro-motore, i loro stati elettrici devono essere eguali.

Viene da ciò, che se sopra una prima coppia di rame e zinco (r_1, z_1) si pone un disco di carta o di panno bagnato, e sopra questo un'altra coppia simile degli stessi due metalli (r_2, z_2), l'equilibrio elettrico sussisterà in questo sistema allorchè la differenza fra gli stati elettrici del primo rame (r_1) e dell'ultimo zinco (z_2) sarà doppia della forza elettro-motrice. Ponendo al disopra della seconda coppia un secondo disco di carta o panno bagnato, e poscia una terza coppia (r_3, z_3), l'equilibrio sarà stabilito allorchè la differenza fra gli stati elettrici di r_1 e z_3 sarà tripla della forza elettro-motrice. Infine, seguitando a disporre delle coppie l'una sopra l'altra nello stesso ordine, e sempre frapponendo il conduttore umido fra una coppia e l'altra, l'equilibrio elettrico esisterà, quando la differenza degli stati elettrici del primo rame e dell'ultimo zinco sia eguale a tante volte la forza elettro-motrice, quante sono le coppie poste una sopra l'altra.

L'apparecchio che abbiamo così costruito è la *Pila di Volta isolata*. Se n è il numero delle coppie o *elementi*, e se con (2) esprimiamo la forza elettro-motrice, il primo rame sarà carico di una quantità $(-n)$ d'elettricità negativa, e l'ultimo zinco di $(+n)$ di elettricità positiva.

Se poi si costruisce la pila mettendo la sua estremità rame in comunicazione col suolo, a modo che sia zero il suo stato elettrico, la sua estremità zinco sarà carica d'una quantità 2 n d'elettricità positiva. Sarà (— 2 n) la elettricità negativa dell'estremità rame se sarà la pila costruita in modo, che la sua estremità zinco comunichi col suolo. La tensione dell'elettricità all'estremità della pila che non comunica col suolo dovrà esser sempre, per questi principi, proporzionale al numero degli elementi.

Egli è facile di verificare coll'esperienza, che nella pila così costruita ed isolata le due estremità sono cariche di elettricità contraria; che questa elettricità è positiva sullo zinco, negativa sul rame: che è zero su quella estremità che comunica col suolo, e positiva o negativa sulla estremità zinco o rame che non si fa comunicare col suolo. Basta per ciò di mettere in comunicazione col piatto collettore del condensatore quella estremità di cui vuolsi studiare lo stato elettrico. Vedremo più innanzi quale sia il rapporto trovato coll'esperienza fra le tensioni elettriche e il numero degli elementi o coppie della pila secondo che è isolata o in comunicazione col suolo con una sua estremità.

Se si mettano in comunicazione con un corpo conduttore il primo rame e l'ultimo zinco, la corrente elettrica si produrrà immediatamente, e poichè per la forza elettro-motrice gli stati elettrici si riproducono incessantemente, la pila sarà continuamente carica, e continuamente si scaricherà pel corpo conduttore. Su quest'apparecchio e sulla sua maniera di agire si sono adottate alcune denominazioni, delle quali importa che conosciate bene il valore. Si chiama dunque *polo positivo* quella estremità della pila su cui si trova l'elettricità positiva, e da cui questa elettricità si ammette muoversi per l'*arco* o *circuito* che riunisce i due poli. Si chiama *polo negativo* l'altra estremità che si carica d'elettricità negativa, e verso cui si dirige, nella teoria di un fluido solo, l'elettricità positiva; o da cui parte, nell'ipotesi dei due fluidi, l'elettricità negativa. L'arco o circuito che riunisce i due poli suolsi comporre di due parti che comunicano con una loro estremità coi due poli della pila, e che si riuniscono insieme colle altro due, onde completare il circuito. Queste due parti chiamansi *reofori* o *elettrodi;* uno dei quali si dice positivo, l'altro negativo, secondo l'estremità della pila con cui è a contatto. Infine si conviene generalmente d'assegnare alla corrente una direzione come s'immette nella teoria di un fluido solo, prendendo la direzione con cui si scarica l'elettricità positiva per direzione della corrente nella pila. Laonde si dice che la corrente voltaica va dal polo negativo al positivo nell'interno della pila, e dal positivo al negativo nel circuito, o arco interpolare.

Sono varie le disposizioni immaginate per costruire la pila. Quella su cui abbiamo ragionato, che è la prima immaginata da Volta, è la *pila a colonna* (*Fig.* 120). In questa $r'\,z$, $r'\,z'$, $r''\,z''$, $r'''\,z'''$ ec. sono le coppie rame e zinco; h, h', h'', h''', ec. sono i dischi di carta o di panno inzuppati di liquido. Si costruisce comunemente una pila con tanti archetti (*Fig.* 121) fatti di lamine di zinco e rame saldati insieme, e messi accavalcioni di tanti bicchierini di vetro, a modo che in uno stesso bicchierino peschi l'estremità zinco di un archetto, e l'estremità rame dell'altro archetto. Per poco che si rifletta sopra la disposizione di questa pila, si vede bene che ella non differisce sostanzialmente da quella della pila a colonna. Questa pila che dicesi *a corona di tazze*, si compone di tanti strati liquidi che separano le estremità rame e zinco di due coppie successive. La direzione della corrente è sempre dall'ultimo bicchierino in cui pesca lo zinco, a quello in cui pesca il rame: se non che chiudendo il circuito con un arco che sia esso pure una coppia, a modo per conseguenza che il suo rame peschi collo zinco della penultima coppia e il suo zinco col rame della penultima coppia dell'altra estremità, la corrente, che ha sempre la direzione che le abbiamo assegnato, va dal rame allo zinco della coppia interpolare. Il polo positivo rimane sempre quello in cui pesca l'ultimo zinco delle coppie della pila, e in cui, senza esservi a contatto, si trova il rame dell'arco interpolare. Anche questa disposizione della pila a corona di tazze fu immaginata da Volta. Nella *Fig.* 122 vedesi un'altra disposizione di pila. È la pila così detta *a cassetta*. Consiste questa pila in una cassetta di legno verniciato, e in cui sono fissate, a guisa di tante tramezze, delle coppie di rame e zinco saldate insieme, e disposte nel solito ordine, a modo che tutte le facce rame guardino da una parte, le facce zinco da un'altra. S'empie di liquido lo spazio lasciato fra una coppia e l'altra. Quando si vuol far cessare l'azione della pila, basta di votarne il liquido.

Vi sono anche delle pile fatte con una coppia sola, e fra queste la costruzione generalmente adottata è quella di Wollaston, in cui la lamina rame ha una superficie doppia della lamina zinco, e perciò l'inve-

s'te da tutte le parti. Si costruisce una specie di scatola di rame in cui s'introduce lo zinco, e si versa il liquido nella cassetta di rame. Si possono riunire insieme molte di queste coppie alla Wollaston, e si ha così una specie di pila a corona di tazze, in ognuna delle quali il rame circonda lo zinco da tutte le parti. Nella *Fig.* 123 veggonsi due di queste coppie: *r*, *r*, *r* ... indicano la lamina rame; *z*, *z*, *z* ... la lamina zinco. In *z r* si riuniscono le due lamine; *r*, *r*, *r* ... pescano in un liquido contenuto in un recipiente qualunque; *r'*, *r'*, *r'*... pescano in un altro recipiente, e così di seguito. Se il rame si costruisce a cassetta sono inutili i recipienti, e il liquido s'introduce nelle stesse cassette. Anche in queste pile, come può vedersi nella *Fig.* 123, la corrente va dal rame libero allo zinco libero per il conduttore interpolare che si congiunge.

Si usa anche di disporre le due lamine rame e zinco a spirale, tenendole separate l'una dall'altra con piccoli pezzetti di legno, e tuffandole così disposte in un liquido. In qualunque punto delle due lamine si stabilisca una comunicazione metallica, è chiaro che si verrà ad aver una coppia sola a circuito chiuso, e quindi una pila *elementare*, che dicesi *a spirale*. Con questa costruzione si possono adoperare delle lamine metalliche molto estese, senza che occupino un gran posto. La direzione è quella della coppia elementare, e quindi dal rame allo zinco pel filo metallico che li riunisce. La circolazione è dovuta alla forza elettro-motrice: nel liquido va dallo zinco al rame.

Si fanno ancora delle pile adoperando dischetti di lamina molto sottile di zinco e di rame, nei quali il conduttore di seconda classe non è liquido, ma una carta su cui si suol dare una specie di vernice colla farina, o meglio col latte. Suolsi anche adoperare in luogo della lamina di rame e della carta, una carta semplice su cui si distende uno strato di latte, e sopra a questo si sparge dell'ossido di manganese. Dai fogli di carta così preparati si tagliano tanti dischetti simili a quelli della lamina di zinco: si dispongono l'uno sull'altro quelli di carta, poi quelli di zinco, e sempre nello stesso ordine; si comprimono, e s'inviluppa infine questa specie di pila a colonna con uno strato di vernice colbente o con zolfo fuso. Si costruiscono cotali pile ammucchiando molte centinaia di elementi: e non essendovi il liquido che si adopera nelle pile che abbiamo descritto, il quale è soggetto ad evaporarsi e quindi a far cessare l'azione delle pile, queste di cui parliamo ora persistono lungamente nella loro azione. Si chiamano esse *pile a secco*, e furono immaginate dal De Luc e dal Zamboni. Una delle più utili applicazioni che siensi fatte di queste pile a secco è quella che devesi a Bohnenberger. Nell'elettroscopio (*Fig.* 101) in luogo delle due verghe metalliche *a* e *b* si mettono due pile a secco, disposte in modo che nelle due estremità superiori *a* e *b* una porti l'estremità elettrizzata positivamente, l'altra l'estremità elettrizzata negativamente. In questo caso l'elettroscopio non porta più due foglie d'oro ma una sola. È chiaro che se la foglia d'oro è convenientemente disposta, essendo egualmente attratta dalle due estremità elettrizzate in senso contrario, non si muoverà: basterà però la più piccola quantità d'elettricità per farla muovere portandola verso quella estremità *a* o *b* che ha una elettricità contraria alla sua. Un elettroscopio così fatto, oltre alla grande sensibilità di cui è fornito, ha il vantaggio d'indicare immediatamente la natura dell'elettricità che le è comunicata: e questo elettroscopio munito di condensatore, è l'apparecchio il più delicato che possediamo per le ricerche di piccolissime quantità d'elettricità.

Sin qui non ho fatto che descrivervi le più importanti fra le tante forme della pila: non crediate però che siensi adottate a caso, nè che tutte producano nello stesso grado i suoi vari effetti. Ma troppe cognizioni vi mancano ancora per intendere come si risolvano tutte le quistioni che riguardano questo importante soggetto: sicchè mi è d'uopo differire ad altro tempo questa spiegazione.

Intanto qui non so omettere di dirvi una parola sulla storia della grande scoperta del Volta. Galvani, medico a Bologna, nel 1790 preparava delle rane, scorticandole, tagliandone la midolla spinale a metà, e lasciando una metà di questa unita alle cosce col soli nervi lombari. Infilava con uncini di rame queste rane, e le sospendeva alle sbarre di ferro di una finestra. Osservò Galvani che tutte le volte che la rana così preparata toccava la sbarra di ferro con un punto qualunque delle sue membra, vi si eccitavano le più violenti convulsioni. Galvani ricordando le contrazioni, che abbiamo visto accadere in una rana così preparata e posta presso il conduttore di una macchina elettrica, ad ogni scintilla che se ne trae, non esitò di attribuire all'elettricità il fatto che abbiamo descritto. Variò in mille modi la sua esperienza, e s'assicurò che v'erano sempre le contrazioni tutte le volte che un arco com-

posto di due metalli toccava nello stesso tempo i nervi e i muscoli della rana, e che mancava se queste arcoera fatto di sostanze coibenti. Immaginò edunque un'*elettricità animale*; vide nei nervi e nei muscoli le due armature di una bottiglia di Leida cariche d'elettricità latente, e considerò l'arco metallico come l'arco scaricatore della bottiglia animale da lui supposta. Correvano l'Europa questi fatti e le idee del Galvani. Volta, professore a Pavia, ripetè le esperienze, le variò, le meditò profondemente, e giunse a conchiudere che la causa delle contrazioni eccitate nella rana risiedeva nell'arco metallico, e che la rana era invece l'arco per cui si scaricava l'elettricità sviluppata dai metalli dell'arco. È una delle più belle pagine della storia della Fisica la lotta grave, sempre onorevole, che si svegliò fra questi due Italiani e i loro Seguaci. Parve la vittoria per molto tempo indecisa; ma in fine l'esperienza parlò troppo altamente, e troncò la questione. Volta toccò i due piatti di rame e zinco isolati, li portò separatamente al condensatore, e li trovò, come abbiam visto, carichi d'elettricità contraria. Non poteva quindi rimaner più alcun dubbio, perciocchè nel contatto de'due metalli avveniva lo sviluppo dell'elettricità, ei produceva la corrente elettrica. E fu giorno ben propizio per tutte le scienze quello in cui Volta scoprì questo fatto, che spiegò poi coll'ipotesi della forza elettromotrice. Vedremo in seguito quante modificazioni abbia subito la sua ipotesi, quanto il progresso della scienza ne abbia cangiato l'aspetto. Ma che che sia di ciò, i fatti non mutano: la PILA è lo strumento il più potente, il più vario della Fisica. E se siamo ancora lontani dal conoscere le conseguenze tutte, e tutte le applicazioni di cui è suscettiva, sappiamo nondimeno che ha essa operato immensi effetti. In somma colla scoperta del Professore Padovano il nostro paese ha dato, per la seconda volta, una spinta tutta nuova alle Scienze, ha aperto una nuova era.

LEZIONI XLVII e XLVIII.

Dello sviluppo d'elettricità per azione chimica, tanto nel caso in cui avviene la scomposizione di una combinazione, quanto in quello in cui si fa la combinazione. — Fatti che stabiliscono l'origine chimica dell'elettricità voltiana. — Critica della teoria di Volta.

Sin dai primi tempi in cui Volta immaginò la teorie della forza elettro-motrice si ammise da Fabroni, da Wollaston, da Parrot ec. che la causa dello sviluppo d'elettricità nella coppia voltiana fosse l'azione chimica che accompagnava quei fenomeni. Da quell'epoca si è immensamente esteso il numero delle esperienze e favore dell'una e dell'altra teoria, e tutti i giorni veggiamo moltiplicarsi i fatti che servono ad appoggiar l'una a confutar l'altra. Comincerò adunque dall'esporvi quei fatti che stabiliscono senza alcun dubbio che l'azione chimica sviluppa elettricità; indi cercherò di dedurre alcuni generali principî, e dopo un esame critico delle due teorie, fatto sempre colla scorta de'fatti, giungeremo con fondamento a decidere quale delle due teorie debba adottarsi.

Le azioni chimiche son tanto diverse fra loro, tanto variabili per le più piccole circostanze, che non è possibile studiare i fenomeni elettrici che accompagnano ognuna di queste azioni. Dobbiamo perciò limitarci ad indicare i fatti più generali, e di essi quelli che, senza alcuna eccezione, stabiliscono non esservi caso di azione chimica senza che vi sia contemporaneo sviluppo di elettricità.

Per osservare lo sviluppo di elettricità nella scomposizione, Pouillet adopera un crogiuolo di platino che comunica col condensatore unito ad un elettroscopio. Riscaldato il crogiuolo di platino a roseo ec vi si versano alcune gocce di una soluzione di un sale qualunque o di un acido nell'acqua, questo liquido si evaporizza ed abbandona in tal guisa il sale o l'acido che vi eran disciolti, e che perciò appariscono sul crogiuolo. Non si ha che a separare i due piatti del condensatore, e si vedrà allora di vergere le foglie dell'elettroscopio per cagione dell'elettricità negativa rimasta nel crogiuolo. Qualche volta la carica del condensatore è tanto grande da far divergere le foglie dell'elettroscopio senza far agire il condensatore, cioè trascurando di mettere uno dei piatti in comunicazione col suolo. Se invece di tenere il crogiuolo di platino in comunicaziona col condensatore si dispone l'esperienza a modo da raccogliere l'elettricità del vapore acqueo che si forma in questa esperienza, si trova che questo vapore è carico d'elettricità positiva. Se si adoperassero soluzioni saline od acide, si troverebbe ancora sviluppo d'elettricità, operando come si è detto; se non che el avrebbe elettricità negativa nel vapore che si forma, e po-

sitiva nell'alcali che rimane nel crogiuolo. Ora l'elettricità sviluppata nelle circostanze descritte non può di certo attribuirsi che alla separazione dell'acqua dal corpo combinato che vi è disciolto; non è l'effetto che della scomposizione chimica. Peltier ha ripreso ultimamente lo studio di questi fatti, ed ha provato che lo sviluppo dell'elettricità ha luogo allorquando è l'acqua combinata che abbandona il sale, e non mai per la separazione dell'acqua soprabbondante. Così adoperando una soluzione di sal marino si trova che lo sviluppo dell'elettricità ha luogo nell'istante in cui il sale decrepita, e non prima nè dopo la decrepitazione. Con questo sale è l'acqua interposta che agisce come soluzione satura, e lo sviluppo dell'elettricità ha luogo nell'atto in cui questa soluzione satura si scompone. Se si adopera un sale che contenga dell'acqua di cristallizzazione, il primo effetto che si osserva gettandolo nel crogiuolo riscaldato, è la sua fusione, è una grande evaporazione senza sviluppo d'elettricità: quando la decrepitazione comincia, il crogiuolo dà immediatamente segni d'elettricità negativa. Peltier cita il nitrato d'ammoniaca; vuolsi però osservare che l'azione del calore sopra questo sale produce ben più dell'evaporazione dell'acqua di cristallizzazione, giacchè lo stesso sale è vivamente decomposto in questa circostanza.

Questi risultati ci spiegano quelli che Volta aveva ottenuto, interpretandoli diversamente. Infatti Volta, insieme a Lavoisier ed a Laplace, aveva ottenuto segni forti di elettricità facendo bollire dell'acqua, o scomponendola nei suoi elementi, idrogene e ossigene. Dal che egli conchiuse esservi sviluppo d'elettricità perchè vi era cambiamento di stato, perchè un corpo passava dallo stato liquido all'aeriforme. Aggiungeva, in conferma di questa ipotesi, che il vapore dell'acqua nel condensarsi sviluppava elettricità positiva contraria a quella che si produceva allorchè l'acqua si convertiva in vapore. Pouillet ha ripreso in seguito quest'esperienze, ed ha provato che non vi era mai sviluppo d'elettricità tutte le volte che si gettava nel crogiuolo di platino riscaldato un corpo, capace bensì di volatilizzarsi, ma non suscettibile di alcuna azione chimica: ha trovato in questo caso acqua distillata, acido acetico, acido nitrico ec. È dunque evidente che i resultati ottenuti da Volta operando con acqua non distillata, e sempre in circostanze in cui vi era azione chimica, rientrano in quelli studiati da Pouillet.

Anche l'azione chimica che accompagna la combinazione dei corpi sviluppa elettricità. Comincerò dal parlarvi dell'azione chimica che ha luogo fra i metalli e le soluzioni acide. Becquerel è il primo Fisico che abbia fatto esperienze precise e complete sopra questo soggetto. Ecco il modo con cui Becquerel opera: al piatto di un condensatore (*Fig.* 117) è unita una verga d'ottone terminata in un anello in cui si pone un crogiuolo, o capsula di metallo piena di un liquido. Becquerel immerge in questo liquido la estremità di una lamina metallica Z, che tiene all'altro capo colle dita e perciò in comunicazione col suolo, avendo ben cura che non tocchi in alcun punto il metallo della capsula. Secondo la natura relativa dei liquido e dei metalli della capsula e della lamina, trovasi accumulata elettricità, ora positiva ora negativa, sul piatto del condensatore. Tutti i resultati del dotto Fisico francese portano a questa conclusione: che se la capsula è di platino, qualunque sia il liquido e il metallo tenuto fra le dita e in esso immerso, l'elettroscopio indica sempre che la capsula si è caricata di elettricità positiva; che se invece è la lamina immersa nel liquido che comunica col piatto del condensatore e il crogiuolo è tenuto fra le dita, e quindi in comunicazione col suolo, allora qualunque sia il liquido o il metallo della capsula, è sempre negativa l'elettricità che la lamina immersa comunica al piatto del condensatore. Eccovi nel seguente quadro i resultati dell'esperienze di Becquerel.

CAPSULA DI METALLO	LIQUIDO CONTENUTO NELLA CAPSULA	METALLO IMMERSO NEL LIQUIDO	STATO ELETTRICO DELLA CAPSULA
Platino	Acido solforico concentrato	Oro	+
idem	*idem*	Argento	+
idem	*idem*	Rame	+
idem	*idem*	Ferro	+
idem	*idem*	Piombo	+
idem	*idem*	Zinco	+
Platino	Acido solforico molto diluito con acqua	Oro	+
idem	*idem*	Argento	+
idem	*idem*	Rame	+
idem	*idem*	Ferro	+
idem	*idem*	Piombo	+
idem	*idem*	Zinco	+
Rame	Acido solforico concentrato	Oro	—
idem	*idem*	Argento	—
idem	*idem*	Platino	—
idem	*idem*	Ferro	0
idem	*idem*	Piombo	0
idem	*idem*	Zinco	—
Rame	Acido solforico diluito con acqua	Oro	—
idem	*idem*	Argento	—
idem	*idem*	Platino	—
idem	*idem*	Ferro	+
idem	*idem*	Piombo	—
idem	*idem*	Zinco	+
Platino	Dissoluzione di potassa	Oro	+
idem	*idem*	Argento	+
idem	*idem*	Rame	+
idem	*idem*	Ferro	+
idem	*idem*	Pimbo	+
idem	*idem*	Zinco	+
Rame	Dissoluzione di potassa	Oro	—
idem	*idem*	Argento	—
idem	*idem*	Platino	—
idem	*idem*	Ferro	+
idem	*idem*	Piombo	0
idem	*idem*	Zinco	+

Basterà di dare un'occhiata sopra i risultati ottenuti da Becquerel, e descritti nel quadro che abbiamo riportato, per assicurarsi che non possono di certo attribuirsi, secondo i principi di Volta, all'azione elettro-motrice fra i liquidi e i metalli. E di fatti, il platino, l'oro, l'argento, che sono i più negativi a contatto dello zinco, del ferro, del plombo, dello stagno ec., come potrebbero mai a contatto di un liquido, di un elettromotore di seconda classe, invertirsi nella loro facoltà elettro-motrice? come divenire negativi i secondi e positivi i primi?

Egli è dunque assai bene dimostrato che tutti cotesti effetti dipendono dallo sviluppo di elettricità per azione chimica, ed è provato che in tutti i casi in cui un liquido agisce sopra un metallo che vi è immerso, e cede uno dei suoi elementi per combinarvisi, v'è sviluppo d'elettricità: che l'elettricità positiva si porta nel liquido che ha eccitata l'azione chimica, mentre la negativa rimane nel metallo. Adoperando la capsula di platino, siccome questo metallo non soffre alcuna azione chimica, così si carica sempre di elettricità positiva; la quale gli è comunicata dal liquido, mentre la negativa della lamina immersa si spande sul suolo. Quando la capsula è fatta di un metallo che soffre l'azione chimica, ed è di platino la lamina immersa, allora è negativa l'elettricità del condensatore perchè lo è quella del metallo della capsula *attaccato*, mentre la positiva sparsa nel liquido, si diffonde nel suolo per mezzo della lamine di platino tenuta fra le dita. Così è chiaro, che se tanto il metallo della capsule quanto quello della lamina sono *attaccabili* dal liquido, gli effetti devono essere complicati. E vi sono di vero due azioni chimiche, cioè quella del liquido sul metallo della capsula, e quella dello stesso liquido sul metallo della lamina immersa: in virtù della prima azione la capsula si carica d'elettricità negativa, e la positiva si spande nel liquido, da cui esce per la lamina metallica, e va nel suolo: in virtù della seconda azione la capsula riceve dal liquido l'elettricità positiva, e la lamina prende la negativa. Vedesi da ciò che il condensatore riceve nello stesso tempo le due elettricità, positive e negativa; e secondo che esse hanno una tensione eguale o diversa, i suoi segni sono o nulli, o di elettricità negativa, o di positiva. Il primo caso è quando il crogiuolo e la lamina sono fatti dello stesso metallo; il secondo ha luogo quando il metallo della capsula soffre dal liquido un'azione chimica maggiore di quella che soffre il metallo della lamina immersa; e il terzo caso quando la lamina immersa è più attaccata della capsula. Non v'è uno dei risultati di Becquerel che non sia conforme a questi principi.

Se i due metalli adoperati nelle esperienze di Becquerel col condensatore vengono riuniti ai due capi del filo del galvanometro (*Fig.* 125) e poi immersi nel liquido, si avrà la corrente; l'elettricità positiva sparsa nel liquido per l'azione chimica esercitata sul metallo attaccato si comunicherà al metallo che non soffre azione chimica, e da questo ritornerà al metallo attaccato, che è elettrizzato negativamente. L'azione chimica non cessando di agire, non cessano di prodursi gli stati elettrici contrari nel metallo e nel liquido, nè cessa la loro neutralizzazione per mezzo dell'arco metallico. La corrente [prendendone, al solito, la direzione come ammette il Volta nell'ipotesi di un sol fluido], va dal metallo attaccato al liquido, e ritorna per l'arco metallico dal metallo non attaccato all'altro.

Anche nella teoria della forza elettromotrice di Volta abbiamo intesa con eguale facilità la produzione della corrente dalla coppia voltiane: ora si sono spiegati questi fatti ricorrendo all'azione chimica del liquido sopra uno de' metalli della coppia. Non è però anche tempo che da noi si discuta quale di questi due modi di rendersi conto dell'elettricità voltiana sia il più giusto, il più generale.

Continuiamo l'esposizione dei fatti che provano lo sviluppo d'elettricità per azione chimica. Se si mette sul piatto del condensatore un crogiuolo riscaldato e preso successivamente di diversi metalli, e vi si getta una o poche gocce di acqua, di alcool, di acidi ec. mentre è così caldo, si sviluppa anche in questo modo l'elettricità; e tutte le volte che si ha cura di scegliere il liquido ed il metallo della capsula in modo che non vi sia che una sola azione chimica, cioè quella che il liquido esercita sulla superficie metallica riscaldata, sempre il metallo si carica di elettricità negativa. Questi fenomeni assai si complicano se il liquido stesso che si mette a contatto del crogiuolo riscaldato soffre anch'esso un'azione chimica; se è tale cioè che si scomponga, come abbiamo visto accadere nelle sperienze di Pouillet.

Anche la combinazione fra i liquidi e liquidi è accompagnata da sviluppo di elettricità. Per averne una prova ci è duopo valerci del galvanometro. L'esperienza si può tentare in diversi modi. Si prendono (*Fig.* 135) due capsule, P ed N, di vetro o di porcellana, in una della quali N si versa una soluzione di acido nitrico, solforico ec., nel-

l'altra P una soluzione di potassa, di soda, di barite, di un ossido qualunque; si fanno comunicare le due capsule con uno stoppino di cotone, con un pezzo di carta o di amianto inzuppati d'acqua o d'una soluzione salina; s'adopera anche un tubo di vetro piegato ad U, e pieno d'acqua o d'argilla bagnata. Immerse allora due lamine di platino unite agli estremi del galvanometro nel due liquidi delle due capsule, si vede l'ago magnetico deviare, crescere a mano a mano la sua deviazione, ed essere questa costantemente diretta a modo da mostrare che la corrente va dalla capsula in cui è la soluzione di potassa a quella in cui è l'acido, passando per l'arco liquido intermedio; poi ritorna necessariamente nel filo metallico del galvanometro in direzione contraria. Può farsi l'esperienza più accuratamente, in modo da escludere ogni contatto fra le lamine di platino e i due liquidi diversi delle due capsule. Si adoperano perciò quattro capsule, due di platino e due di vetro; le due prime sono le estreme, le altre due le intermedie. La prima e la quarta di platino, che comunicano coi capi del galvanometro, si riempiono di uno stesso liquido, p. es. di acido nitrico. Nella seconda capsula si versa lo stesso acido nitrico, e nella terza una soluzione di potassa. Si stabiliscono le comunicazioni fra la prima e la seconda, la terza e la quarta con tubi di vetro pieni d'acqua, e fra la seconda e la terza con uno stoppino di cotone, o meglio d'amianto. Ancorchè questo stoppino non sia inzuppato di liquido, lo diviene presto per la capillarità del due liquidi nei quali è immerso; ed all'istante in cui si veggono i due liquidi acido e alcalino, de' quali s'inzuppa lo stoppino, venire a contatto, appare la corrente, e l'ago devia mostrando costantemente che la corrente va dalla capsula alcalina all'acida per l'arco liquido. È evidente che così operando, l'azione chimica più forte è quella che determina la corrente elettrica; è l'azione fra l'acido e l'alcali.

Si osservano assai facilmente questi effetti tuffando le lamine di platino nell'acqua pura o in una soluzione salina, dopo avere immersa una delle lastre di platino in un acido, l'altra in un alcali. In questo caso, come nel primo esperimento, vi sono tre azioni chimiche che agiscono contemporaneamente; e siccome dirigono tutte gli effetti nello stesso senso, così questi si ottengono assai forti. Adunque fra l'acido e l'acqua, o la soluzione salina, vi è corrente elettrica che va nel liquido dall'acido all'acqua; fra l'acqua, la soluzione salina e l'alcali vi è pure una corrente che va nel liquido dall'acqua e dalla soluzione salina, come farebbe da un acido all'alcali. Infine vi è una corrente egualmente diretta, per l'azione dell'acido e dell'alcali. Le prime due correnti si mostrano al principio dell'esperienza, e producono la prima deviazione; all'istante in cui i due liquidi, acido ed alcali, cominciano ad agire, la corrente soffre un forte ed improvviso aumento.

Becquerel ha costruito sopra questi principi una pila, la quale, dopo ciò che abbiam detto, possiamo di leggieri figurarcela. È dessa un tubo di platino chiuso ad un'estremità con un turacciolo che può essere d'amianto, di tela o d'altro, e pieno d'una soluzione di potassa; il tubo così preparato è immerso in una capsula di platino piena d'acido nitrico. All'istante in cui la capsula ed il tubo sono riuniti con un filo di platino, la pila agisce, la corrente elettrica si produce, diretta, al solito, dall'alcali all'acido nel liquido.

Vi parlerò ancora di un altro caso di azione chimica accompagnato da sviluppo di elettricità. La combustione non consiste che in un'azione chimica congiunta a sviluppo di calore e di luce. Volta ed indi Pouillet sono riesciti ad ottenere dei segni di elettricità negativa nel corpo combustibile, e di positiva nel corpo che eccita l'azione chimica e che produce la combustione. Eccovi l'esperienza di Pouillet. Un cilindro di carbone posa sul piatto del condensatore ed è acceso superiormente. Indi a poco sollevando il piatto, trovo che il carbone lo ha elettrizzato negativamente. Questi effetti sono anche più forti se si ha cura di spingere una corrente di gas ossigeno sull'estremità accesa del carbone, posciachè in simil caso l'azione chimica o la combustione si fanno assai più vivamente. Se invece si dispone l'esperienza in guisa da raccogliere l'aria e l'acido carbonico che si sollevano e si formano per la combustione, il condensatore si carica di elettricità positiva. Gli effetti anche in questo caso crescono attivando coll'ossigeno la combustione, e tenendo il cilindro di carbone in comunicazione col suolo. Pouillet ha ottenuto gli stessi effetti anche nella combustione dell'idrogeno: egli fa comunicare il tubo metallico da cui esce il getto del gas col piatto del condensatore, e trova il piatto elettrizzato negativamente. L'elettricità positiva dell'ossigeno si ottiene circondando la fiamma alla distanza di qualche millimetro con una spirale di platino che si fa comunicare col piatto del condensatore.

Tutti i fatti riportati a prova dell'elettricità che accompagna l'azione chimica, possono riassumersi in un principio generale: allorchè un corpo è attaccato da un altro,

v'è sviluppo e separazione delle due elettricità. Se l'azione chimica succede fra un metallo e l'acqua, o pura o acidulata, il metallo prende l'elettricità negativa, il liquido la positiva. Non cade dubbio su questo principio, che è conseguenza di un infinito numero di fatti. Quando un corpo conduttore è unito al metallo, e pesca nel liquido insieme con esso senza sufficiente azione chimica e quindi senza svolgere elettricità, si carica dell'elettricità positiva del liquido, e allora comincia la circolazione. La corrente è diretta nel liquido dal metallo attaccato all'altro corpo, metallo od altro, e va da questo per l'arco metallico al metallo attaccato.

Vedete da ciò, come siamo condotti a legare col solo principio dello sviluppo d'elettricità che accompagna l'azione chimica, i fenomeni della coppia voltiana, spiegati da Volta colla forza elettro-motrice che egli suppone aver luogo al contatto dei due metalli eterogenei.

Ora dunque ci resta di generalizzare questi due principi, di variare gli esperimenti, ed introdurvi alcune circostanze che possano condurci a stabilire quale dei due soddisfa al maggior numero di fatti. Riassumiamo i fondamenti della dottrina del contatto e della teoria chimica. Nel primo la forza elettro-motrice si sveglia pel contatto dei due metalli, per cui uno prende l'elettricità positiva, l'altro la negativa; e quando un liquido o un corpo cattivo elettromotore è interposto, le due elettricità separate nei punti del contatto metallico si riuniscono attraverso al liquido, e si ha così la corrente che, nella ipotesi di un sol fluido, va dal metallo positivo al negativo nel liquido, e dal negativo al positivo nell'arco metallico.

Nella teoria chimica, quello dei due metalli che soffre l'azione chimica, che seguiteremo a chiamare elemento positivo della coppia, quello che scompone il liquido e si combina con uno de' suoi elementi, prende l'elettricità negativa; il liquido ha la positiva, che raccolta dall'altro metallo ritorna al primo, e così seguita a circolare finchè seguita l'azione chimica.

La differenza delle due teorie è ben netta. Nella prima il liquido conduce l'elettricità che è sviluppata dalla forza elettro-motrice; nella seconda il liquido sviluppa l'elettricità colla sua azione chimica, e diviene negativo il metallo che soffre questa azione. Se i due metalli che formano la coppia soffrono tutti e due l'azione chimica, è certo che la corrente, e i fenomeni di tensione che si produrranno ci rappresenteranno l'azione chimica più forte, e sarà sempre dal più attaccato dei due metalli che la corrente sarà spinta nel liquido.

Vedete un galvanometro (*Fig.* 125) alle cui estremità sono unite due lamine, una di rame, l'altra di ferro. Immergo nell'acqua, o pura o acidulata, le due lamine, ed ho segni fortissimi di corrente elettrica, la cui direzione combina bene nelle due teorie. Il ferro è quello che spinge la corrente nel liquido; e difatti secondo Volta il ferro si fa positivo pel contatto col rame: e così dev'essere secondo la teoria chimica, perchè si sa che il ferro, in preferenza del rame, è attaccato dall'acqua e dagli acidi. Cambio il liquido, e, in luogo d'acqua acida, metto una soluzione di idrosolfato di potassa, o di ammoniaca: immergo le due lamine ferro e rame in questo liquido, e veggo di nuovo segni fortissimi di corrente, di cui però *la direzione è opposta a quella di prima*, venendo spinta nel liquido dal rame. Questo fatto non può intendersi nella teoria di Volta: ma se dimandate a un Chimico quale dei due metalli, ferro e rame, è più attaccato da un idrosolfato, vi risponderà che è il rame. È dunque vero che dei due metalli componenti la coppia, quello che spinge la corrente nel liquido è quello che è maggiormente attaccato. Aggiungerò un altro esempio. Immergo in una soluzione acida due lastre, una di rame e l'altra di stagno, unite ai capi del solito filo del galvanometro, e v'è corrente spinta dallo stagno nel liquido. E qui le due teorie sono d'accordo: ma immerse le dette lastre nell'ammoniaca la corrente sarà diretta in senso contrario di prima, andrà cioè nel liquido spinta dal rame. La Chimica infatti c'insegna, che il rame è più dello stagno attaccato dall'ammoniaca; e ben ce lo prova il colore azzurro che prende l'ammoniaca dopo che il rame vi è immerso, e che è dovuto a rame disciolto e combinato all'ammoniaca. Potrei moltiplicare d'assai questi fatti, e sempre vedreste che alla sola azione chimica, disuguale nei diversi casi, è dovuto il diverso stato elettrico che i due metalli immersi vi prendono, ed è costante che l'elemento positivo, quello da cui è spinta la corrente nel liquido, è quello che è più attaccato dal liquido. La teoria del contatto non può spiegare questi cambiamenti prodotti dai diversi liquidi: e poichè la teoria chimica non solo li spiega, ma li fa necessariamente dedurre, conviene ammettere che nella coppia voltiana l'azione chimica è quella che produce la corrente elettrica.

Potrebbe però dirsi, che anche pel contatto l'elettricità si sviluppa, e accade solo che qualche volta sopra gli effetti elettrici del contatto prevalgono quelli dell'azione

chimica. Continuiamo adunque gli esperimenti. Ai due capi del galvanometro unisco due lamine; una d'oro puro, l'altra di platino puro. Tuffo le due lamine nell'acido nitrico ben puro, e l'ago mi dà appena piccoli segni di deviazione. Dopo poco questi segni spariscono, cessa ogni deviazione nell'ago. Eppure in questo esperimento vi sono tutte le circostanze che vuole la teoria del contatto cioè due metalli eterogenei a contatto e un liquido interposto molto conduttore. La teoria chimica invece rende facilissima spiegazione di questa mancanza di sviluppo d'elettricità. Sa ogni Chimico che l'acido nitrico puro non ha azione nè sul platino nè sull'oro. Se aggiungo all'acido nitrico una qualche goccia d'acido idroclorico, all'istante vedete fortissimi segni di corrente che è diretta dall'oro nel liquido. La Chimica ci risponde infatti, che il miscuglio di acido nitrico e idroclorico agisce sull'oro e sul platino, e che l'azione è più forte sopra l'oro. Il platino e l'argento immersi nelle soluzioni saline o alcaline che non hanno azione chimica sull'argento, non producono segno di corrente: una goccia d'acido basta a svilupparla, e sempre in modo che l'argento, come quello che è attaccato, è l'elemento positivo. Mi giova recarvi innanzi altri fatti. Verso un liquido qual si voglia in un tubo ricurvo ad U di vetro: al mezzo del tubo v'è un tappo d'argilla o di cotone che separa il liquido dei due bracci, senza impedire che la corrente elettrica vi passi, inzuppandosi esso pure del liquido. Ai capi del galvanometro unisco due lamine che sono dello stesso metallo, cioè tutte due di zinco, di rame, di ferro, di platino. Fo pescare una delle lamine in un braccio del tubo ricurvo, l'altra nell'altro. Se il liquido è lo stesso, non ho segno di corrente. Perchè si ottengano questi segni, basta che renda il liquido di uno dei bracci del tubo più o meno acido, più o meno caldo; tale insomma che la sua azione chimica sulla lamina sia diversa da quella che l'altro produce sull'altra lamina. La corrente che si ha è diretta, al solito, nel liquido dal metallo più attaccato al meno attaccato. Potrei moltiplicarvi questi esperimenti in mille modi: una delle lamine immersa prima dell'altra, una tenuta prima d'immergerla in un liquido e l'altra no, una agitata e l'altra no, una già ossidata e l'altra no, una più grande dell'altra, sono tante circostanze che producono la corrente allorchè s'immergono in uno stesso liquido le due lamine dello stesso metallo fra le quali vi sono le differenze che ho accennate. In somma con infinito numero di esperimenti mi sarebbe dato di convincervi, che in tutti i casi quelle differenze hanno portata una diseguaglianza di azione chimica del liquido sulle due lamine dello stesso metallo; e vedreste essere generalmente vero che il metallo più attaccato è quello da cui la corrente è spinta nel liquido.

L'esame però delle due teorie dell'elettricità voltiana è così fondamentale in Fisica, che aggiungendo altri fatti non temo di estendermi di troppo su di esso. Ho preparato due lamine, una di platino l'altra di zinco, piegate ad arco. Verso separatamente in un bicchierino una soluzione acida, e in un altro una di ioduro di potassio nell'acqua. Tuffo i due archi metallici nel due bicchierini tenendoli l'uno dall'altro separati in modo, che nell'uno e nell'altro bicchierino si trovino i capi dei due archi, uno di platino, l'altro di zinco. Poco dopo, sull'estremità di platino che è immersa nella soluzione dell'ioduro di potassio, vedete comparire uno strato giallo che è di iodio. Questo fenomeno non sarebbe accaduto senza l'arco di zinco; cosicchè è forza tenerlo per un effetto dell'azione chimica della corrente elettrica. Vedremo più innanzi che l'iodio è sempre sviluppato a quell'estremità dell'arco metallico da cui esce la corrente per entrare nel liquido, la quale estremità è quella chiamata *polo positivo*. Ora come intendere, nella teoria del contatto, il detto fenomeno, mancando il contatto fra i due metalli? Ben di leggieri si trova ch'egli è una conseguenza della teoria chimica: i due capi dell'arco di zinco soffrono un'azione chimica diseguale, perchè è questa più forte nel liquido acido che nella soluzione dell'ioduro, e la corrente che circola è quella che è prodotta dal liquido acido il quale ha una maggiore azione chimica sullo zinco. Nella *Figura* 138 l'esperimento è disposto in un'altra maniera: nel bicchiere V pieno di una soluzione acida sono immerse due lamine x a Z e R b g c x, una di zinco, l'altra di platino, che terminano separate in x a contatto di una carta inzuppata di una soluzione di ioduro di potassio. Nell'arco o lamina di platino s'introduce un galvanometro g, unendone i suoi capi coi due pezzi x c e R b di platino. Potrebbe introdursi egualmente il galvanometro nella lamina x a Z di zinco. La corrente definitiva che in questa disposizione circola, e che è mostrata dalla scomposizione della soluzione di ioduro posta in x e dalla deviazione del galvanometro g, è indicata dalle frecce disegnate nella detta *Fig.* 138. Questa direzione prova ciò che abbiamo detto, che cioè la corrente è determinata dall'azione chimica che esercita il liquido acido che è in V sullo zinco, maggiore dell'azione chimica che sul

lo stesso metallo produce la soluzione di ioduro posta in x.

Aggiungerò che Faraday portando a contatto i fili metallici attaccati a due grandi lamine di rame e zinco immerse in un liquido acido, ebbe la scintilla elettrica, e in questo caso la scarica si produsse prima che il contatto fra i due metalli avesse avuto luogo, e quindi per la sola tensione elettrica in cui sono portati lo zinco e il liquido per l'azione chimica che fra loro si sviluppa.

Lo stesso Faraday ha ultimamente raccolto, in una lunga memoria sull'origine del potere della pila voltaica, una serie estesissima di esperimenti, i quali provano che la corrente elettrica prodotta dalla coppia di Volta varia d'intensità, comincia, cangia di direzione, cessa, secondo delle circostanze che sono interamente indipendenti dal contatto dei due metalli, mentre invece sono in un costante rapporto coll'azione chimica esercitata disegualmente dal liquido sui due metalli.

L'esame dei fatti che vi ho esposti conduce necessariamente a queste conseguenze:

1.° Il solo contatto di due sostanze eterogenee *immerse in uno stesso liquido conduttore*, non produce corrente elettrica, anche nelle circostanze le più favorevoli, secondo la teoria della forza elettro-motrice.

2.° L'azione chimica, sola e anche senza il contatto di sostanze eterogenee, produce la corrente elettrica, la quale è sempre diretta dal metallo o corpo più attaccato nel liquido che produce l'azione chimica.

3.° Deve perciò ammettersi che nel caso in cui vi è nello stesso tempo il contatto di sostanze eterogenee e l'azione chimica, la corrente elettrica è prodotta da quest'ultima cagione, trovandosi costantemente che il metallo sul quale l'azione chimica del liquido è la più forte è sempre l'*elemento positivo* della coppia.

Ma qui mi è d'uopo farvi cenno della viva lotta svegliatasi fra gli Oppositori e i Seguaci della teoria della forza elettromotrice di Volta. Tutto ciò che abbiamo detto, ci prova bene che lo sviluppo d'elettricità nella coppia voltiana e nella pila deve attribuirsi all'azione chimica del liquido, la quale è maggiore sopra uno dei metalli della coppia: potrebbe però essere che il solo contatto di due corpi eterogenei, indipendentemente da qualunque azione chimica, fosse in qualche caso accompagnato da svolgimento d'elettricità. Non istarò a ripetervi tutti gli sforzi che si sono fatti per ottenere dei segni di elettricità per solo contatto, ed escludendo ogni azione chimica; nè vi dirò i molti tentativi fatti toccando insieme i due piatti [*Fig.* 118] di rame e zinco, o d'altri metalli: perchè oltre al non aversi in questo modo che assai difficilmente de' resultati costanti, possono poi sempre entrare in campo altre circostanze che accompagnano questo contatto, e che sviluppano elettricità, quali sono l'attrito, la pressione ec. Tuttavia si è tentato di variare gli esperimenti colla doppia coppia di Volta [*Fig.* 119] tenendola non più colle dita, che sono sempre coperte da un umore che agisce chimicamente sulla lamina, ma in vece con un pezzo d'avorio o d'ebano ben secco. Si è costruita la stessa coppia con metalli poco o punto soggetti a soffrire l'azione chimica e ad ossidarsi, e in questi casi si è sempre visto indebolirsi grandemente ed anche sparire i segni dell'elettricità sviluppata dalla coppia voltiana. In vece tutte quelle circostanze che favoriscono l'azione chimica accrescono lo sviluppo d'elettricità. Ma l'esperienze le più importanti si sono fatte costruendo un condensatore con due dischi, uno di zinco e l'altro di rame perfettamente simili per la forma e la grandezza. Si è osservato che mettendoli a contatto l'uno coll'altro, facendo comunicare con un conduttore metallico le loro superficie non verniciate, si avevano segni d'elettricità positiva sullo zinco, di negativa sul rame allorchè poi venivano separati. Si sono adoperati altri metalli oltre lo zinco ed il rame, e si sono ottenuti dei risultati analoghi benchè più deboli. Questa maniera d'esperimentare è stata infinitamente variata dai Fisici che se ne sono occupati. Pfaff, e specialmente l'illustre Marianini, non hanno trascurata precauzione per escludere l'azione chimica. Hanno perciò operato nel vuoto, nell'acido carbonico, nell'idrogene, ed hanno avuto cura di privare questi gas di vapore acqueo. Marianini ha avuto l'ingegnosa idea di costruire una bottiglia di Leida colle armature fatte di due metalli eterogenei e messe in contatto di due piatti ciascuno del metallo stesso dell'armatura con cui comunica. È notissima per molte importanti ricerche l'abilità e l'esattezza del Marianini nel lo sperimentare, e non può dubitarsi de' risultati da lui ottenuti.

Dai quali si dovrebbe conchiudere che, in alcuni casi, anco senza azione chimica, basta il contatto di due metalli eterogenei a sviluppare elettricità. Se non che si potrebbe soggiungere, che una specie d'azione chimica ha anche luogo senza che avvenga una combinazione; e sarebbe in questo caso una tendenza alla combinazione che produrrebbe lo sviluppo dell'elettricità. Così credo si debba spiegare l'attività

delle pile a secco che v'ho descritto. È indubitato che queste pile persistono ad agire per molti anni: e se si osservano le coppie dopo questo tempo, appena vi sono sensibili le tracce d'ossidazione sull'elemento positivo. Ma col dar luogo al sospetto della esistenza di un'azione chimica senza che gli effetti si mostrino, ho forse creata un'ipotesi che può esser priva di ogni fondamento, coll'intenzione di comprendere sotto un solo principio tutti i casi di sviluppo di elettricità prodotta nell'azione reciproca di due corpi eterogenei. Attenghiamoci adunque alla sola scorta dei fatti, e concludiamo: 1.° che i fenomeni elettrici della coppia voltiana e della pila sono dovuti alla sola azione chimica esercitata nelle condizioni già esposte; 2.° che in qualche circostanza il solo contatto di due metalli eterogenei può sviluppare elettricità.

LEZIONI XLIX, L e LI.

Fatti che stabiliscono l'origine chimica dell'elettricità voltiana. — Principi generali della teoria chimica della Pila. — Relazione fra la quantità d'azione chimica e quella dell'elettricità che n'è sviluppata. — Pila a forza costante.

Noi conosciamo ora estesamente tutti i fatti che provano lo sviluppo dell'elettricità che ha luogo per l'azione chimica; abbiamo anche provato essere da quest'azione dipendenti i fenomeni elettrici della pila di Volta. Il principio adunque che serve di base alla teoria dell'elettricità voltiana è il seguente: quando un metallo o un corpo qualunque è *attaccato* da un altro, le due elettricità si separano; il corpo attaccato, il metallo p. es. prende l'elettricità negativa; il corpo che attacca, il liquido acido p. es., prende l'elettricità positiva. De la Rive, uno de' Fisici che maggiormente hanno contribuito a stabilire la base della teoria chimica dell'elettricità voltiana, ha aggiunto una considerazione che è fondamentale, e di cui conviene sempre tener conto a voler intendere i fenomeni della pila. Le due elettricità tenute separate dall'azione chimica, tendono, secondo De la Rive, a riunirsi per la loro reciproca attrazione; ed è perciò che conviene ammettere che in quel punto stesso in cui per l'azione chimica le due elettricità si separano, si ricombinano ancora. Così De la Rive spiega il perchè la tensione non diviene fortissima, come lo diverrebbe, se le elettricità separate dall'azione chimica che continuamente opera, non si riunissero anche continuamente. A parere dello stesso Fisico, la porzione delle due elettricità separate, che non si riunisce nel modo che si è detto, è quella che forma la corrente e che si riunisce per l'arco metallico, andando dal metallo non attaccato all'altro.

Premessi questi principi, è necessario che diamo alla teoria chimica dell'elettricità voltiana un fondamento maggiore. Ma per farlo occorre avere prima stabilito il rapporto che passa fra l'azione chimica che sviluppa l'elettricità, e questa elettricità che è sviluppata.

La chimica c'insegna come può variarsi l'azione chimica di due corpi, come può rendersi or maggiore, or minore. Gli effetti dell'elettricità, cioè il riscaldamento dei corpi che percorre, la decomposizione chimica che essa produce, l'azione sull'ago calamitato, sono tutti fenomeni che possiamo misurare, e misurando i quali abbiamo di necessità la misura della quantità d'elettricità che li produce. Non istabilirò in questo momento i rapporti numerici fra le quantità di elettricità e gli effetti che questa produce, ma aggiungerò che la Scienza non è ancora abbastanza avanzata sopra questo soggetto.

Certo è però, e le più semplici esperienze ce lo provano, che quanto è maggiore la quantità di elettricità che percorre un filo metallico e lo riscalda, che circola in un liquido e lo decompone, che agisce sopra un ago calamitato e lo fa deviare, tanto più questi suoi effetti sono grandi.

E da ciò si spiega l'aumento d'azione di una coppia voltaica rendendo il liquido che la fa agire più carico di acido. Sappiamo infatti dalla Chimica, che in questo caso l'acqua è più facilmente scomposta, e più facilmente seguita ad esserlo: l'ossigeno dell'acqua che si unisce al metallo forma alla sua superficie uno strato d'ossido, il quale è tolto dall'acido con cui si combina per formare un sale. In tal modo il metallo è continuamente scoperto, e l'ossidazione e la salificazione si succedono continuamente.

Basta, per osservare questi fenomeni, di unire ai capi d'un galvanometro due lamine, una di platino e l'altra di zinco, e di cominciare coll'immergerle nell'acqua stillata. La corrente è allora debolissima; e diverrà forte ognora più, aggiungendo all'acqua delle quantità sempre maggiori di un acido qualunque. È necessariamente diverrà anche più forte accrescendo la superficie dello zinco che soffre l'azione chimica, non

che quella dell' altro metallo che raccoglie l' elettricità sparsa nel liquido. Vedete di fatti crescere la deviazione dell'ago del galvanometro a misura che immergo maggiormente lo zinco nel liquido. Perchè per altro gli effetti di questa maggiore immersione siano al massimo, convien tuffare, corrispondentemente allo zinco, anche l'elemento negativo della coppia. Quantunque ciò non succede già per effetto d'azione chimica che in lui sia prodotta; e sappiamo anzi che è meglio non ne patisca alcuna. Ma vedremo fra poco di che guisa si spieghino gli effetti che si ottengono immergendo una maggior superficie dell' elemento negativo. Gli effetti maggiori che si hanno riducendo lo zinco a guisa d'un pettine, cioè tagliando la sua superficie a modo che cresca il numero degli spigoli, debbono riferirsi all'aumento di azione che l'acido ha sullo zinco così preparato. In questo caso, sanno tutti i Chimici che l'azione chimica è assai maggiore, di quello che non è sopra una superficie piana e unita. Nello stesso modo possiamo spiegare l'aumento d'azione che si ha in una coppia voltiana riscaldando il liquido in cui è immersa. L'azione chimica infatti diviene più forte pel riscaldamento, e cresce per ciò la quantità di elettricità che n'è sviluppata. In somma sussiste sempre che lo sviluppo dell' elettricità e quindi gli effetti della corrente crescono allorchè cresce l'azione chimica sullo zinco, cioè la quantità di questo metallo che è ossidata in un dato tempo. La quantità dello zinco che è ossidata e poi disciolta dall'acido, si determina facilmente pesando lo zinco quando si comincia a farlo agire nella coppia, e quando si cessa. Mi conviene però farvi avvertiti, che questa conclusione non è *interamente* vera, se non che scegliendo lo zinco o l'elemento positivo in certe condizioni, che fra un momento stabiliremo.

In tutti questi casi ho supposto sempre che l'elemento negativo della coppia, quello in cui entra la corrente del liquido, sia scelto in modo da non essere che solo conduttore, e cioè senza che soffra alcuna azione chimica del liquido. Il che si verifica nell'acqua pura, nella soluzione d'acido solforico e nitrico, nelle soluzioni di molti sali, colla coppia di zinco o altro metallo per elemento positivo, e di platino per l'elemento negativo. Ma posto che questo elemento sia attaccato dal liquido, quantunque più debolmente dello zinco, conviene tener conto della corrente che sviluppa, giacchè è evidente, come già l'ho detto, che la corrente effettiva che si mostra, è la differenza delle due correnti eccitate in senso contrario dall'azione chimica ineguale del liquido sui due metalli della coppia.

Donde si deduce che ad ottenere il maggior effetto elettrico da una coppia voltiana è mestieri rendere l' azione chimica del liquido la minore possibile sull'elemento negativo. A questo risultato si giunge usando il platino, e si ottiene ancora adoperando il rame disposto in un modo ingegnoso che merita d'essere descritto. I due elementi della coppia s'immergono in due liquidi diversi che comunicano insieme, senza però mescolarsi, e quindi separati o da una tela, o da uno strato d'argilla, e più comunemente da un diafragma di membrana o *vescica*. Nel liquido acido si fa pescare la lamina di zinco o l' elemento positivo della coppia: l'elemento negativo, che supponiamo di rame, s'immerge in una soluzione satura di solfato di rame nell'acqua. In questo liquido non può il rame soffrire alcuna azione chimica. Eccovi un tubo piegato ad U, nel cui mezzo è un tappo di cotone: verso in uno dei bracci la soluzione acida, nell'altro una soluzione satura di solfato di rame. Nel primo liquido tuffo la lamina di zinco, nell'altro la lamina di rame. Adoperando altri metalli in luogo del rame, si sceglie una soluzione satura nell' acqua di un sale a base di quel metallo che forma l' elemento negativo della coppia. Vi dirò più innanzi gli altri vantaggi di questa costruzione.

Ma prima di procedere a stabilire il rapporto fra l'azione chimica e l' elettricità da lei sviluppata, è necessario che vi parli d'una circostanza che ha molta parte nella produzione della corrente elettrica. L'elettricità sviluppata dall'azione chimica per ridursi a corrente deve muoversi nel liquido, e passare da questo al metallo, o elemento negativo. Tuttociò che cresce la conducibilità del mezzo che la corrente deve percorrere, vale a rendere anche maggiore la porzione dell'elettricità che circola. I corpi liquidi hanno, come i metalli e tutti i corpi, una conducibilità che dipende dalla loro natura, dalla loro temperatura, e dalle dimensioni della colonna liquida che dev' essere percorsa dall'elettricità. Avremo occasione di ritornare sopra questo argomento. Intanto mi basta dirvi, e l'analogia coi fenomeni della scarica elettrica già studiati ce lo insegna, che quanto più è corto l'intervallo o strato liquido che deve esser percorso dalla corrente, quanto più è esteso in larghezza, tanto è minore la resistenza che presenta. Questi principî condussero Wollaston ad immaginare la pila descritta nella *Fig.* 123, in cui ogni lamina di zinco zz è circondata

da tutte le parti da una lamina r r di rame ripiegata a cassetta: alcune zeppe di legno tengono separati i due metalli. Ogni zinco comunica col rame della coppia successiva: le lamine estreme sono da una parte una lamina di rame, o una semicoppia; dall'altra una lamina di zinco, cioè un'altra semi-coppia. In questo caso la corrente della pila va dal rame allo zinco per l'arco metallico scaricatore. Il liquido si versa nelle scatole di rame; e con un meccanismo facile a comprendersi, si sollevano o si abbassano tutte le lamine di zinco in guisa da introdursi o da estrarsi dal liquido, facendo così a volontà cessare o cominciare l'azione. Il vantaggio di questa costruzione è evidente: l'elettricità positiva che è sparsa nel liquido per la sua azione sullo zinco, è raccolta in tutti i punti delle superficie del rame che lo circonda, ed è assai sottile lo strato che deve percorrere allorchè circola. Si aggiunge che, come risulta da esperienze che più innanzi esporremo, la corrente elettrica incontra una resistenza nel passare da un liquido a un metallo, e in generale in ogni cambiamento di conduttore; e che questa resistenza divien minore a misura che il metallo in cui la corrente si dirige dal liquido, ha una superficie più estesa. La resistenza è anche diminuita se il metallo soffre facilmente l'azione chimica; e difatti pel platino questa resistenza è assai maggiore che per gli altri metalli che soffrono una qualche azione chimica dal liquido.

La resistenza che il platino presenta al passaggio della corrente da un liquido è così grande, che in generale si ottiene meno forte la corrente dalla coppia zinco e platino di quello che dalla coppia rame e zinco, benchè nel primo caso sia tolta affatto quella azione chimica sull'elemento negativo della coppia, che è tutta a scapito dell'altra. M. Smee è giunto a vincere una gran parte della resistenza che il platino presenta al passaggio della corrente allorchè è immerso in un liquido e fa da elemento negativo della coppia, preparandolo allo stato di spugna, cioè rendendolo molto diviso; prepara perciò lamine d'argento coprendole di platino molto diviso con un processo, che vedremo più innanzi essere assai facile.

La pila di Wollaston presenta un'applicazione e ad un tempo una conferma di questo fatto: che vi è, cioè, vantaggio a tenere la superficie dell'elemento negativo più estesa di quella dello zinco.

La natura del liquido e la sua temperatura fanno anche variare la sua conducibilità, e quindi influiscono sulla corrente della coppia voltiana. È certo che senza accrescere l'azione chimica sull'elemento positivo, si può far variare la natura del liquido a modo da renderlo più conduttore, ed accrescere così la corrente. Le sostanze saline, e soprattutto gli acidi aggiunti all'acqua, aumentano molto la conducibilità di questo liquido. E di ciò posso darvi una prova aggiungendo acidi o sali nel liquido che non è a contatto dell'elemento positivo, purchè però si scelga l'elemento negativo tale, che non venga ad accrescersi su di lui l'azione chimica dal liquido più acido in cui lo immergo: in questo modo potrebbero gli effetti distruggersi. L'acido nitrico che aggiunto alla soluzione di acido solforico aumenta tanto l'attività della coppia, agisce non solo accrescendo l'azione chimica sullo zinco, ma principalmente favorendo la conducibilità del liquido. È così vero, che gli effetti della corrente sviluppata da una coppia sono più forti quando nel liquido v'è acido nitrico, di quello che quando v'è solo acido solforico, e che questo aumento è dovuto alla migliore conducibilità che prende il liquido nel primo caso, che se si determina il peso dello zinco disciolto nei due liquidi in un dato tempo, si trova maggiore quello che si è disciolto nel solo acido solforico. Sia questo fatto una prova che non tutto lo zinco disciolto produce corrente. Anche il riscaldamento del liquido può aumentare la conducibilità e quindi la corrente, indipendentemente dall'influenza che ha nell'accrescere l'azione chimica sull'elemento positivo.

Sin qui abbiamo imparato a determinare le circostanze che aumentando l'azione chimica sull'elemento positivo della coppia, aumentano pure l'elettricità che se ne sviluppa. Ma non è anche tutto: perchè sia completa la teoria di questo modo di produrre elettricità, convien conoscere il rapporto numerico che passa fra la quantità dell'azione chimica e quella dell'elettricità che sviluppo, fra la cagione e l'effetto. Passo adunque ad esporvi i fatti che ci conducono a cotesta importantissima cognizione. Prendo una lamina Z di zinco *distillato* e purissimo (*Fig.* 132); la immergo in un liquido che è acqua pura, a cui ho aggiunto un poco d'acido solforico puro. Se vi fosse azione chimica, l'acqua sarebbe scomposta, l'ossigeno si unirebbe allo zinco, e l'idrogeno si svilupperebbe. Non veggo nulla di questo; non v'è azione chimica, l'acqua non è scomposta. Vi sono però, ed è importante a notarsi, segni di elettricità di tensione che è, al solito, positiva pel liquido, negativa per lo zinco. Vedremo poi come devo interpretarsi questo fatto nella teoria chi-

mica: m'interessa assai di esser certo che v' è elettricità di tensione in questo caso. Nello stesso liquido introduco una lamina P di platino. Se la lamina di platino non tocca lo zinco, nulla osservo, ed è come se fossero immerse seperatamente in due vasi. Non succede però così se metto e contatto, o fuori del liquido o nel liquido, i due metalli; perciocchè all'istante si svolge un torrente di bolle di gas idrogeno da tutti i punti del platino, e lo zinco è disciolto, senza che sulla sua superficie si sviluppi una bolla di gas. Posso raccogliere il gas idrogeno, coprendo con una campana di vetro il filo o lamine di platino. Queste esperienze sono state fatte da Faraday: si è misurato il gas idrogeno sviluppato sul platino; si è pesata la lamina di zinco e prima e dopo che i due metalli si sono toccati e che l'idrogene si è sviluppato, e si è trovato che *la quantità d'idrogene è esattamente quella che era combinata alla quantità di ossigene appartenente all'acqua scomposta nell'azione chimica, cioè a quella quantità d'ossigene che si è unita allo zinco per ossidarlo.*

Interpretiamo subito questi risultati. L'idrogeno sviluppato sul platino è di certo un effetto della corrente elettrica che scompone l'acqua, poichè il platino non la scompone, e lo avete visto immergendolo o solo o senza che tocchi lo zinco. Quell' idrogeno è dunque un effetto dell'azione chimica della corrente elettrica. Or bene: la quantità di zinco che si è ossidata misura la forza elettro-generente: la quantità d'idrogeno raccolto sul platino misura la quantità di elettricità che è sviluppata. La quantità di elettricità sviluppata è tale, che decompone una quantità d'acqua eguale a quella ch'è decomposta nell'azione chimica che genera questa elettricità. Diciamolo in altri termini: *L'elettricità che scompone un dato peso d'una combinazione, un grammo d'acqua p. es., e quella che si sviluppa da un grammo d'acqua nello scomporsi, sono le stesse.* Questo principio è fondamentale; e basta a stabilire che l'azione chimica e l'elettricità sono due fenomeni essenzialmente associati fra loro. Adoperando altri metalli in luogo dello zinco, come lo stagno, il piombo ec., ho trovato confermarsi questo principio. Lo stesso accade ancora, qualunque sia il corpo che si use per ossidare o combinarsi al metallo. Quantità equivalenti di diversi corpi svolgono, nell'ossidarsi, clorurarsi, solforarsi ec., la stessa quantità di elettricità.

Concludiamo da ciò, che gli atomi o equivalenti chimici sono volumi di materia che hanno poteri elettrici eguali, che contengono eguali quantità d'elettricità. Dobbiamo a Faraday i fatti principali di questa scoperta. In una mia Memoria pubblicata nel fascicolo di Gennaio degli *Annales de Chimie et de Physique* dell'anno 1835, partendo da fatti diversi e assai meno compiuti di quelli del celebre Fisico Inglese, notai com'io era giunto ad analoghe conseguenze, ed indicai i risultati che abbiamo esposti e che già il Faraday aveva ottenuti.

Si potrebbe credere, che nell'esperienza descritta il contatto dei due metalli fosse quello che sviluppa l'elettricità, ed è cagione dell'azione chimica; infatti l'idrogeno comparisce quando lo zinco è toccato dal platino. Fedeli alla teoria chimica dell'elettricità voltiana, in seguito dei molti fatti comprovanti che l'azione chimica è sempre il fenomeno che precede lo sviluppo dell'elettricità, dobbiamo ammettere che allorquando lo zinco è immerso nell'acqua acide, l'azione chimica si limita a sviluppare gli stati elettrici delle molecole elementari dell'acqua e di quelle dello zinco; ed infatti abbiamo i segni di tensione elettrica. La corrente comincia a prodursi allorchè il platino è immerso e tocca lo zinco, e solo allora la molecole dell'acqua è realmente scomposta: l'azione chimica continua, e riproduce gli stati elettrici di tensione che la corrente distrugge ad ogni momento.

È facile ora d'intendere perchè, adoperando zinco impuro o altri metalli in questo stato, l'idrogene dell'acqua si svolge in parte sullo stesso elemento positivo. I metalli mescolati allo zinco e che lo rendono impuro, fanno lo stesso ufficio del platino che tocca lo zinco puro; ed infatti si ha il medesimo risultato toccandolo col rame, col ferro e con tutti i metalli, purchè non sia lo stesso zinco, cioè un corpo che sia attaccato egualmente, o lo sia più del metallo o elemento positivo.

Per queste impurità, che tanto difficilmente si tolgono anche colla stessa distillazione, e perchè ammessa altresì la purezza dello zinco allorquando s'immerge nell'acido, possono riprodursi, per l'azione ineguale dell'acido alla superficie e dentro della massa liquida, avviene di avere collo zinco puro e con una soluzione d'acido solforico molto forte, l'azione chimica senza il contatto del platino. Tuttavia è sempre vero che pel contatto col platino, tutto l'idrogeno si sviluppa sopra questo metallo, e che quest'idrogeno misura la quantità d'elettricità che circola. Oltre di che deve accadere che per la molto buona conducibilità che il liquido acquista colla maggior quantità dell'acido, gli stati elettrici che l'azione chimica accumula nel metallo e nel liqui-

do non possano rimanere senza neutralizzarsi.

V'è un modo curioso di preparare lo zinco impuro, e di ridurlo ad agire come lo zinco distillato. Questo modo fu scoperto da Kempe e da Sturgeon. Coprite di mercurio, amalgamate lo zinco, e così preparato immergetelo nel liquido acido. Vedrete che non si svolge alcuna bolla d'idrogene, o se ne svolgono poche; poca o nulla sarà l'azione chimica patita dallo zinco. Toccatelo col filo di platino o con altro metallo, e all'istante il platino sarà coperto dal gas idrogene e lo zinco disciolto. La più piccola quantità di zinco aggiunta ad una gran massa di mercurio produce questo effetto. Non fo che toccare con una lamina di zinco una grossa bolla di mercurio, poi la copro del liquido acido, la tocco col filo di platino, e questo filo è coperto di bolle d'idrogene. Quanto al rapporto fra lo zinco ossidato e l'acqua scomposta dalla corrente sviluppata, è lo stesso in questo modo come collo zinco puro.

Ignoriamo ancora l'azione singolare del mercurio in questo caso. Faraday dice che coll'amalgamazione si rende uniforme, omogenea la superficie dello zinco; che cioè non vi sono più alcuni punti d'un metallo, altri d'uno diverso. Non basta però, perchè non s'intende come il mercurio non faccia l'ufficio del platino. Grove ha detto che il mercurio assorbiva l'idrogene; ma il fatto è falso, e si prova facilmente coll'esperienza. Quanto a me stimo che cotesto fenomeno sia più generale di quel che non appare sulle prime: l'amalgama è una combinazione, e in questo caso i due metalli, zinco e mercurio, non sono più nella condizione dello zinco e platino che si toccano, e quindi in quella in cui sono lo zinco e gli altri metalli che lo rendono impuro.

Se invece di fare che la corrente scomponga l'acqua, la fo scomporre un altro corpo, i risultati sono gli stessi. Eccovi una soluzione di solfato di rame. Copro con questa soluzione una goccia di mercurio che contiene lo zinco, una goccia d'amalgama di zinco. La soluzione non è scomposta. Immergo nel liquido un filo di platino, e nulla accade. Quando il filo tocca il mercurio, all'istante lo veggo coprirsi di uno strato di rame metallico. Non si può già dubitare che questo rame non sia un prodotto della corrente che ha scomposto il solfato e portato il rame sull'elemento negativo della coppia.

Pesando il rame che la corrente separa nello scomporre il solfato di rame, e lo zinco che si è ossidato e combinato poi all'acido, per produrre la corrente, si trova che i due pesi sono nel rapporto degli equivalenti chimici dei due metalli. In somma il risultato non varia da quello ottenuto or ora colla scomposizione dell'acqua.

Per compiere l'esposizione di questi fenomeni, devo dirvi ancora che Faraday ha provato che qualunque sia il corpo che scioglie l'ossido di zinco formato e fa perciò continuare l'ossidazione, gli effetti sono gli stessi. Nella soluzione di potassa il rapporto fra lo zinco ossidato e la quantità d'acqua scomposta è come nella soluzione acida, nella quale l'ossido di zinco si combina all'acido per fare il solfato di zinco.

In tutti i casi d'azione chimica elettrogeneratrice, di cui abbiamo parlato fin qui, quest'azione è stata accompagnata da una decomposizione. Così lo zinco prende l'ossigene dell'acqua per ossidarsi, e intanto l'idrogene si rende libero. Ho trovato che lo sviluppo della corrente non aveva luogo se l'azione chimica era prodotta dalla combinazione di un corpo semplice metalloide con un metallo. Così il cloro, l'iodio, il bromo che si combinano coi metalli, anche in mezzo a circostanze favorevoli per la circolazione della corrente, non danno scioglimento di corrente.

È necessario dunque per questo scioglimento, che vi sia la separazione dei due elementi di una combinazione, uno de' quali si fissa in una nuova combinazione, mentre l'altro si libera o si combina. Quest'ultimo caso, cioè quando i due elementi di una combinazione liquida sono separati per l'affinità dai due elementi della coppia, è il più favorevole per la produzione della corrente. Ciò è quel che avviene nelle pile recentemente immaginate da Grove e da De la Rive.

In quella di Grove lo zinco è in contatto dell'acido idroclorico contenuto in un cilindro di porcellana non cotta intieramente, e quindi atto ad imbeversi de' liquidi. Questo cilindro è poi immerso in un altro di vetro pieno d'acido nitrico, in cui pesca la lamina di platino. L'acido idroclorico è scomposto, e i suoi elementi si combinano l'uno, cioè il cloro, collo zinco; l'idrogene coll'ossigene dell'acido nitrico.

Bunsen, in questi ultimi tempi, ha sostituito all'elemento di platino un cilindro di carbone fatto scaldando insieme fortemente della polvere di coke con polvere di carbon fossile. I risultati della pila di Bunsen sembrano tanto intensi quanto quelli della pila di Grove.

Nella pila di De la Rive, invece dell'acido nitrico, si adopera il perossido di piombo bagnato con acqua. L'eccesso d'ossigene del perossido si combina all'idrogene che riman libero dall'azione dello zinco.

Una delle più importanti applicazioni del-

l'azione singolare dello zinco amalgamato, e dei principî dalla teoria chimica dell'elettricità voltiana, è quella fatta da Daniell alla costruzione d'una pila, che è chiamata *a forza costante.*

La *Fig.* 124 rappresenta la sezione di una coppia della pila di Daniell: *abcd* è un cilindro di rame aperto in alto e chiuso inferiormente, ad eccezione della porzione *af* destinata a ricevere un turacciolo di sughero, al quale è adattato un tubo di vetro a sifone *ghijk*. Alla bocca superiore del cilindro si applica un collo *mln* o di rame, che ha un diametro eguale a quello del turacciolo di sughero. Prima di fissare questo collo si lega al turacciolo un tubo di membrana fatto con un pezzo di stomaco o d'intestino di bue. Questo tubo è fissato superiormente e nello stesso modo al collo *mo*. Con questa disposizione si ha una cavità a parete di membrana che comunica col tubo *ghk* a sifone in modo che versandovi del liquido, questo vi rimane finchè non sia oltrepassato il livello *m o*. La più piccola quantità di liquido aggiunta allorchè il livello è in *m o*, lo fa escire dall'apertura *k*. Ne viene che introducendo, per mezzo di un imbuto, un liquido a goccia a goccia, a goccia a goccia escirà dal tubo il liquido più denso che si trova al fondo. In questa cavità piena di una soluzione di acido solforico si sospende il cilindro *qp* di zinco amalgamato. Questo cilindro appoggia sul collo *l n* con una tavola r di legno in cui è infilato. Questa stessa tavola ha un foro nel quale s' introduce il tubo dell' imbuto, da cui scola la soluzione acida che va a scacciarne altrettanta dal tubo a sifone. Lo spazio che rimane fra il cilindro di rame e quello di membrana si riempie d'una soluzione satura di solfato di rame. Si possono costruire molte di queste coppie, che si riuniscono a pila nel modo ordinario. Tanto il cilindro di zinco quanto quello di rame portano due piccole cavità *u* e *t* nelle quali si versa del mercurio, e vi si fanno pescare i fili metallici di comunicazione fra una coppia e l'altra. E tale si è il modo migliore di stabilire le comunicazioni per le correnti elettriche. Le estremità metalliche che si vogliono congiungere sono amalgamate, e siamo certi in tal guisa di avere fra loro un perfetto contatto metallico. Nella *Fig.* 127 si veggono tre coppie di una pila a forza costante, di cui la costruzione è anche più semplice di quella di Daniell. Ogni coppia si compone di una scatola di legno ben verniciata, e separata in tre cavità per mezzo di due diaframmi di membrana che si fissano alle pareti della scatola con un mastice. La cavità del mezzo ha inferiormente un foro in cui è fissato un tubo di vetro terminato in un orifizio molto sottile. Si dispongono le coppie sopra una tavola, da alcuni fori della quale passano i tubi di vetro. Una scatola rettangolare di legno verniciato è fissata sopra la tavola che porta le scatole che ho descritte. Nel fondo della scatola rettangolare sono praticati dei fori o, o, o, muniti di tubi di vetro terminati in orifizio sottile simile a quello dei tubi fissati al fondo della cavità media della scatola che contiene la lamina di zinco. Nelle cavità laterali di ogni scatola, piene d' una soluzione satura di solfato di rame, pescano due lamine di rame riunite insieme con due fili metallici che vi sono saldati. Nella cavità media piena di una soluzione di acido solforico, è immersa una lamina di zinco amalgamato. S'intende facilmente che empiendo la scatola rettangolare superiore della stessa soluzione di acido solforico con cui si sono empite per una prima volta le cavità intermedie, il liquido che escirà da queste cavità per i tubetti inferiori verrà a mano a mano rimpiazzato da nuovo liquido che scolerà in egual quantità dai tubetti della scatola superiore.

Una pila costruita in uno dei modi che abbiamo descritto, ha dei grandi vantaggi sulle pile comuni. I suoi effetti si conservano per lungo tempo senza indebolirsi, mentre nelle pile ordinarie a mano a mano che l'acido si combina all'ossido di zinco si va sempre indebolendo l'azione chimica, e quindi l'attività della pila. L'uso dello zinco amalgamato fa sì che tutta l'azione chimica che si produce, e quindi tutto lo zinco che è ossidato e disciolto allo stato salino, produca corrente elettrica. L'essere la lamina di rame immersa in una soluzione satura di solfato di rame fa sì che non soffra alcuna azione chimica, e quindi non vi sia corrente che circoli in direzione contraria a distruggere porzione di quella prodotta dallo zinco.

Non aggiungerò che due parole a spiegare come possa rendersi facile e durevole la costruzione di queste pile. L'amalgamazione dello zinco si fa rapidissimamente, o bagnando lo zinco con una soluzione di nitrato acido di mercurio, ovvero passando sopra lo zinco, prima di applicarvi il mercurio, con una soluzione di acido solforico. Il bagno acido scioglie l'ossido che vi è alla superficie, e così facilita l' unione dei due metalli. Con l'uso anche non molto lungo di queste pile si lacera il tubo di membrana, e perciò più utilmente si adottano oggi dei tubi di argilla appena cotta, e non verniciata. Questi tubi s'inzuppano assai facilmente dei liquidi, e allora non presentano più resistenza al passaggio della corrente.

È anche utile, nell' uso di queste pile, di tenere nella soluzione di solfato di rame dei pezzi di questo sale allo stato solido. La corrente scompone, come ben vedremo, questo sale, e a poco a poco la soluzione cesserebbe di esser satura senza l'aggiunta di nuovo sale.

Dopo aver esposti i principi sui quali è fondata la teoria chimica dell'elettricità voltiana, ed averli con tutta l'estensione sviluppati nel caso di una sola coppia, mi rimane a mostrare, come questi principi devono estendersi nel caso di una serie di coppie riunite, cioè della pila di Volta. Onde riescire nello scopo con un certo ordine, comincerò dal considerare il caso di coppie ognuna delle quali agisca egualmente delle altre, e in cui lo zinco che si usa sia puro, o amalgamato a modo che tutta l'elettricità sviluppata dall'azione chimica si riduca per intero in corrente. Egli è facile intendere, che veramente questo caso d'eguaglianza d'azione nelle varie coppie di una pila non è possibile a realizzarsi: ma noi lo supponiamo perchè più facilmente da questo possiamo venire al caso reale. Gettate gli occhi sulla *Fig.* 121. In ogni bicchierino pieno di liquido pesca lo zinco di una coppia e il rame della coppia che è prossima, e per conseguenza in ogni bicchierino si trova l'elettricità positiva del liquido, e la negativa del rame che gli è ceduto dallo zinco della coppia prossima. Il ragionamento cade lo stesso per ogni coppia: in tutte si trova che l'elettricità sviluppata sulle lamine attaccate dal liquido deve neutralizzarsi coll'elettricità che è trasmessa sulle lamine non attaccate. Considerate i due bicchierini estremi, e supponete che non vi si trovino i due mezzi archi di zinco e rame che si trovano nella figura. Nel bicchierino in cui pesca l'ultimo zinco unito a coppia, rimane libera l'elettricità positiva di quella coppia: nell'ultimo bicchierino dell'altra estremità della serie rimane l'elettricità negativa del rame di quell' ultima coppia. Se si fa che un arco di solo zinco peschi coll' ultimo rame, e uno di solo rame peschi nell' altro, come nella figura, quest' ultimo prenderà l' elettricità positiva del liquido, l'altro cederà al liquido l'elettricità positiva che si neutralizzerà colla negativa del rame, rimanendo carico d'elettricità negativa. In un caso o nell'altro, le due elettricità s'accumuleranno agli estremi, o poli della pila, per la continuità dell'azione chimica; le tensioni vi diverranno sempre più grandi; ed è fuor di dubbio, che dovranno alla fine vincere la resistenza che la pila, ossia l'insieme delle coppie e del liquido, oppongono al loro passaggio, alla loro riunione. Da questo punto le tensioni estreme si stabiliranno in un grado costante, e le nuove quantità di elettricità sviluppate dall'azione chimica ed eccedenti questo grado si riuniranno attraverso alla pila.

La tensione delle elettricità contrarie dovrà per conseguenza, nel caso della pila isolata, crescere a mano a mano che ci allontaniamo dal mezzo, o, ciò che torna lo stesso, a misura che le due elettricità libere nelle coppie estreme incontrano maggior resistenza a neutralizzarsi. Se uno dei poli comunica col suolo, tutta la pila sarà carica dell' elettricità libera accumulata all' altro: questa, tendendo a spandersi sul suolo, si mostrerà sopra tutta la pila con tensioni sempre decrescenti andando verso il polo non isolato, e in qualche modo proporzionali al numero degli ostacoli presentati all' elettricità, e che la separano dal suolo. Viene da ciò che le tensioni di una pila a' suoi poli saranno tanto più grandi, supponendo che non si alteri lo sviluppo di elettricità in ogni coppia, quanto più è grande la resistenza che l' interno della pila offre, e quindi quanto più è grande il numero delle coppie e la poca conducibilità del liquido. S' intende pur bene, perchè le tensioni sono più deboli colla pila isolata che colla pila in comunicazione col suolo. V' è in quel caso una tendenza, una facilità maggiore delle due elettricità a riunirsi nel seno della pila. Vedremo come l'esperienza conferma queste conseguenze.

Supponiamo ora che un arco conduttore qualunque riunisca l' ultimo zinco e l' ultimo rame, che sono liberi nei bicchierini estremi, come si vede nella *Fig.* 121. È certo che l' elettricità positiva che ha il rame immerso nel liquido in cui si trova lo zinco dell' ultima coppia, andrà per l' arco metallico a neutralizzare l' elettricità negativa rimasta libera nello zinco libero dell' altro bicchierino. In una parola: quando un arco conduttore riunisce i due poli, la quantità d' elettricità che vi circola è quella stessa che circola fra i due elementi di una coppia. Se non vi sono nei bicchierini estremi i due archi liberi di rame e zinco, ma in vece vi s' introducano due lamine di uno stesso metallo unite con un arco conduttore, e se si suppone che non soffrano alcuna azione chimica, la quantità di elettricità che circola nell' arco è, anche in questo caso, quella positiva che lo zinco ultimo spande nel liquido, e la negativa che l' ultimo rame sparge nel liquido. L' elettricità che circola è sempre quella di una sola delle coppie: è la positiva che rimane libera nell' ultimo liquido in cui è lo zinco, e la negativa che il rame dell' altra estremità ha

ricevuto dallo zinco e sparso nell'ultimo liquido. Questo risultato è dimostrato assai bene dall'esperienza. Donde viene che qualunque sia l'effetto della corrente che si prenda a considerare, si trova che è egualmente prodotto da una coppia come da un gran numero di coppie simili. Vedremo però in breve in qual caso e perchè debba modificarsi questo principio. Se si fa passare la corrente di ogni coppia e dell'intera pila sopra uno stesso ago calamitato, sono eguali gli effetti che se ne ottengono. Lo stesso risultato si ottiene da una sola coppia, e da più coppie unite insieme. Marianini dimostrò il primo questa eguaglianza d'azione. Ma può anche prendersi l'azione chimica della corrente onde misurare la quantità d'elettricità che circola. Di tal guisa si trova che la quantità d'idrogene che per l'azione chimica della corrente si svolge sopra l'elemento negativo d'ogni coppia, è esattamente la stessa di quella che si svolge sull'estremità unita al polo negativo dell'arco interposto, e interrotto nella soluzione acquosa che si fa decomporre dalla corrente.

Esaminiamo ora il caso in cui le coppie sieno diseguali, e lo sviluppo della elettricità sia per conseguenza più o meno grande per le diverse coppie. Prendiamo a considerare di tutte le coppie di una pila quella che agisce più debolmente: supponiamo che sia quella di cui lo zinco pesca nel bicchierino di mezzo della *Fig.* 121. È certo che l'elettricità positiva che quello zinco sparge nel liquido essendo minore della negativa che ha il rame con cui pesca, non può neutralizzarla, e che resta perciò su questo una quantità di elettricità negativa che ritiene, o neutralizza una porzione della positiva che il suo zinco tendeva a spandere nel liquido dell'altro bicchierino. Egualmente deve dirsi, che la elettricità negativa del rame unito allo zinco della coppia debole non potrà neutralizzare che un'eguai porzione della positiva che lo zinco dell'altra coppia spande nel liquido, per cui il di più neutralizzerà altrettanto d'elettricità negativa che va nel rame. In tutti i casi, le elettricità libere che circoleranno fra coppia e coppia si ridurranno eguali, e per conseguenza la quantità di elettricità che circolerà nell'arco che riunisce i due poli sarà, come già lo abbiamo provato, eguale a quella che circola per ogni coppia, e quindi eguale a quella che è sviluppata e circola per la coppia la più debole. Questa conclusione è in qualche modo dimostrata dall'esperienza: la corrente di una pila composta di coppie molto forti è grandemente indebolita introducendovi una coppia assai debole.

Ho anche supposto sin qui che lo zinco delle coppie fosse o puro, o amalgamato: ma quando noi sia, ne viene la sola differenza che non tutto lo zinco che è ossidato e sciolto produce corrente che circoli per ogni coppia, e quindi fra i poli della pila. La quantità che circola per ogni coppia e poi per l'arco interpolare, insomma la corrente della pila, è in ogni caso misurata dalla quantità d'idrogeno che si sviluppa sull'elemento negativo della coppia la più debole della pila. L'apparecchio della *Fig.* 131 mi ha servito, in molte esperienze, per la misura della quantità di elettricità che circola o fra ogni coppia, o nell'arco d'una pila. Questo apparecchio consiste in una boccia di vetro, di cui la bocca è esattamente chiusa da un turacciolo di sughero che vi si luta. Nel turacciolo sono fisse due lamine metalliche a e b che terminano coi fili N o P, e che possono essere i due elementi, platino e zinco, d'una coppia, oppure due lamine eguali di platino da introdursi nell'arco interpolare della pila. È fisso nello stesso turacciolo un tubo di vetro che esce dalla boccia e si ripiega all'ingiù. S'empie la boccia di liquido, che può esser lo stesso liquido acido della pila: ciò si può fare, togliendo il turacciolo, versandovi il liquido e poi calcandolo a modo che il liquido scoli dal tubo. Il tubo deve rimaner pieno e quindi piena anche la boccia. Allora si luta il turacciolo. Si potrebbe anche introdurvi il liquido dal tubo, essendo già tutto fisso. In qualunque modo è facile d'intendere l'ufficio di questa boccia. Se in essa trovasi una coppia, il solo idrogene si sviluppa sull'elemento negativo: se la corrente della pila passa per due lamine di platino nel liquido della boccia, i due gas, ossigene e idrogeno, vi si sviluppano. O in un caso o nell'altro, esce dal tubo della boccia un volume di liquido eguale a quello occupato dai gas che vi è sviluppato dentro: e questo liquido, raccolto nella campana graduata c, misura il volume dei gas.

Adoperando la pila a forza costante non v'è più idrogene sviluppato sull'elemento negativo di ogni coppia, ma v'è bensì del rame allo stato metallico dovuto all'azione decomponente della corrente sopra il solfato di rame. I resultati che si hanno pesando questo rame sono identici con quelli che si hanno raccogliendo l'idrogene: la quantità del rame è equivalente alla quantità dell'idrogene.

È tempo che esaminiamo il caso in cui non si verifica più il principio che abbiamo in generale stabilito, che sia cioè la corrente di una pila eguale per ogni coppia presa separatamente, come per la pila intera. Al-

lorchè un arco metallico molto buon conduttore riunisce i poli d'una pila, è verissimo che per quanto s'accresca il numero delle coppie, la quantità di elettricità che circola in una sola coppia fatta agire separatamente, è quella stessa che si può avere riunendo coll'arco metallico i due poli di un gran numero di coppie simili riunite. Ma non è già questo il risultato che si ottiene adoperando, non più un arco interpolare molto buon conduttore, ma un arco invece cattivo conduttore: nel qual caso la quantità di elettricità che circola e quindi gli effetti della corrente, crescono col numero delle coppie. Così, se si fa produrre alla corrente un'azione chimica; poichè allora dee la corrente attraversare un arco liquido poco buon conduttore, la quantità d'elettricità che circola cresce al crescere del numero delle coppie.

Ho messo questo principio in evidenza coll'apparecchio (*Fig.* 131) che ho descritto. Si preparano molti di questi apparecchi a guisa di poter farne una pila; in ognuno di essi vi è una coppia di una lamina di zinco amalgamato e di una di platino. Si riuniscono i fili metallici che escono fuori della boccia, e si fa una pila simile a quella detta *a corona di tazze*. Un'ultima boccia è preparata con due lamine di platino, ed è in questa che si versa il liquido che si vuol far decomporre dalla corrente, e che s'introduce nell'arco interpolare. Può anche, in luogo d'un liquido, adoperarsi un filo metallico assai sottile, e che si tiene molto lungo per renderlo poco buon conduttore.

Obbligando la corrente a passare per l'acqua, si vede a mano a mano che s'accresce il numero delle coppie, accrescersi la quantità dell'acqua che la corrente in un dato tempo scompone, e crescere egualmente la quantità d'idrogene che è separata sopra ogni elemento negativo delle coppie della pila. Cresce col numero delle coppie la quantità della corrente che circola per ogni coppia della pila, ed è la detta quantità sempre eguale a quella che passa per l'arco interpolare. Perciò non può più dirsi, come si è visto nel caso generale considerato prima di un arco interpolare molto buon conduttore, che la corrente di una sola coppia sia eguale a quella della stessa coppia allorchè è riunita in pila ad altre simili.

Il fatto è, ed è provato da molte mie esperienze, che allorquando la corrente di una pila passa per un arco liquido e quindi imperfetto conduttore, misurando l'elettricità che circola per ogni coppia dall'idrogene che si sviluppa sull'elemento negativo, si trova questa quantità crescere al crescere del numero delle coppie; per cui gli effetti di una sola coppia si allontanano tanto più dagli effetti della stessa coppia considerandola riunita a molte altre, quanto più è grande il numero di queste stesse coppie. E se l'arco intermedio cresce di conducibilità, per cui cresce la quantità di elettricità che circola fra i poli, si trova pure cresciuta la quantità di elettricità che circola per ogni coppia: così è evidente che la quantità d'elettricità che circola fra ogni coppia è quella stessa che circola per l'arco interpolare.

Prima di lasciare affatto questo soggetto tenterò di definirvi alcune espressioni, che tanto frequentemente si usano nell'elettro-dinamica. Tutti i libri di questa parte della Fisica parlano d'*intensità*, di *quantità*, di *velocità* della corrente. Ma sappiate che non si era bene d'accordo sul valore di queste espressioni prima della teoria di Ohm. Sia che si prenda a misurare la quantità d'elettricità che si muove in un dato circuito dalla sua azione chimica, sia che si prenda la sua azione sulla calamita, può dirsi in generale, e lo vedremo più innanzi provato, che questi due effetti sono proporzionali alla quantità d'elettricità che è sviluppata, e quindi alla quantità d'azione chimica che la produce. È inutile ch'io vi ripeta che intendo sempre che la coppia o la pila di cui si parla, abbia lo zinco puro, o amalgamato: in altro caso la quantità di elettricità sviluppata non è tutta convertita in corrente. La sola porzione che circola è misurata dall'idrogene sviluppato sull'elemento negativo d'ogni coppia.

Può quest'azione chimica, o forza elettro-generante, come la chiama Faraday, esser varia, più o meno debole, volere più o meno tempo per produrre la combinazione di una data quantità di due corpi. E quantunque alla fine sia in ogni caso costante la quantità di elettricità che è sviluppata da una data quantità d'azione chimica, la corrente non sarà meno varia nei suoi effetti. Così un equivalente di ferro, di zinco, di rame, di stagno, ec. allorchè si unisce ad un equivalente di cloro, di iodio, d'ossigeno, scomponendo così un equivalente d'acido idroclorico, d'acqua, formando un equivalente di cloruro, ioduro, protossido ec., deve svolgere, secondo i principî da noi esposti, una stessa quantità d'elettricità. Se supponiamo ancora che tutta l'elettricità sviluppata in questi diversi casi si riduca a corrente, non ne viene però che in tutti si abbiano gli stessi effetti della corrente prodotta. Sviluppandosi in un tempo più o meno lungo, sarà più o meno grande la

quantità di elettricità che passerà per una data sezione del circuito in un dato tempo. Questa specie di velocità della corrente, questo rapporto fra la quantità dell'elettricità circolante e il tempo che impiega a circolare, può fissarsi nei diversi casi prendendo un'unità di tempo, di area, e di sorgente, per determinare l'*unità dinamica della corrente*.

In una delle seguenti lezioni vi esporrò la teoria di Ohm, per la quale si è giunto ad assegnare un valore semplice e preciso alle espressioni di *velocità*, di *quantità*, d'*intensità* di corrente, e di *resistenza* di circuito.

LEZIONE LII.

Sviluppo dell'elettricità pel calore. — Turmalina. — Fenomeni termo-elettrici. — Pile termo-elettriche. — Termo-moltiplicatore. — Corrente elettrica della macchina.

Havvi un'altra sorgente d'elettricità di cui debbo parlarvi, ed è il calore o comunicato a certi corpi poco conduttori, o propagato nei metalli, e in genere nei corpi buoni conduttori. Nei primi l'elettricità si sviluppa allo stato di tensione, negli altri allo stato di corrente. Cominciamo dai primi. Lemery scoprì che un certo minerale portato dal Ceylan, e chiamato *Tournamal*, aveva la proprietà d'attrarre i corpi leggieri allorchè era riscaldato. Questo corpo singolare, che chiamiamo oggi *turmalina*, trovasi in molti luoghi, ed esiste specialmente in quei terreni che chiamansi *ignei o di fusione*. In seguito si scoprirono molti altri corpi dotati di questa singolare proprietà, e tali sono la boracite, il mesotipo, il topazio, l'ossido di zinco, lo zucchero, ec. Epino ha innanzi a tutti provato, che le attrazioni e ripulsioni della turmalina riscaldata sono dovute all'elettricità, e che la maggiore azione di attrazione e ripulsione elettrica si trova all'estremità del cristalli di questa sostanza, che sono prismi esagoni o triangolari allungati. Il celebre Haüy studiando il rapporto fra la forma cristallina, e la proprietà di elettrizzarsi per il calore, trovò che i corpi elettrizzati in questa guisa avevano i loro cristalli non soggetti alla legge della simmetria nella configurazione delle loro parti estreme; che, cioè, le parti opposte corrispondenti non sono simili nel numero, nella disposizione, e nella figura delle facce. Eccovi i fenomeni generali scoperti nella turmalina riscaldata. Allorchè un cristallo di turmalina è riscaldato, le due estremità del cristallo posseggono un'elettricità contraria. Haüy nel fare questa esperienze soleva mettere il cristallo di turmalina *t t* riscaldata nel suo elettroscopio (*Fig.* 133), ed eccoatandovi nei suoi diversi punti un corpo leggermente elettrizzato, determinava qual era l'elettricità delle due estremità del cristallo. Possono tentarsi tutte le esperienze sulla turmalina con l'apparecchio espresso nella *Fig.* 99. Il quale consiste in un cilindro di vetro chiuso in basso da una lastra metallica sostenuta sopra un treppiede. Il cristallo *t* di turmalina è sospeso nel tubo ad una certa altezza dalla lastra con un filo di seta. Una lampada ad alcool si accende sotto la lastra, che riscalda in tal modo l'aria del tubo e manda calore sulla turmalina. Un termometro collocato nell'interno del tubo a livello della turmalina ne indica la temperatura. Adoperando due cristalli eguali, ed egualmente riscaldati, si riscontra lo stato elettrico contrario delle due estremità del cristallo avvicinandole insieme; a due a due or si attirano, or si rispingono. Sinchè seguita a riscaldarsi un cristallo di turmalina, esso mostra lo stesso stato elettrico che ha preso al principio del riscaldamento; cessando di riscaldarsi, all'istante in cui la sua temperatura è stazionaria, cessa di esser elettrizzato: ma non rimane in questo stato che un tempo assai breve: perchè appena comincia a raffreddarsi s'elettrizza di nuovo, invertendosi la posizione delle due elettricità; quella estremità del cristallo che è positiva nel riscaldamento diviene negativa nel raffreddarsi. Se invece di riscaldare o raffreddare egualmente nello stesso tempo tutte le parti di una turmalina, se ne riscalda una più dell'altra, gli effetti elettrici che svilupparsi variano da quelli che abbiamo descritti, e sono molto importanti. Becquerel che ha scoperto questi fenomeni singolari, fa le esperienze introducendo le due estremità del cristallo di turmalina in due tubetti di vetro che abbiano sensibilmente lo stesso suo diametro: il cristallo si fissa pel suo mezzo ad un tubo di vetro con un filo di platino. Riscaldando uno solo dei tubetti di vetro, e quindi una sola estremità della turmalina, trova Becquerel che questa sola estremità si è elettrizzata, mentre l'altra è rimasta allo stato naturale. Lo stesso risultato si ottiene raffreddando una sola delle due estremità; questa sola si elettrizza prendendo l'elettricità contraria di quella presa per riscaldamento. Fatto opposto a tutti gli altri di sviluppo d'elettricità sin

qui conosciuti, nei quali abbiamo sempre visto accadere contemporaneamente lo sviluppo delle due elettricità, e che merita di essere nuovamente studiato, dubitando assai che nella disposizione descritta e con cui fece Becquerel l'esperimento, possa trovarsi la spiegazione di una tanto strana anomalia. Nel preparare le esperienze di questa lezione mi son contenuto in modo diverso da quello di Becquerel testè descritto. Io adunque introduco per pochi millimetri un cristallo di turmalina in un tubo di vetro precedentemente riscaldato, e ciò fatto porto la turmalina in vicinanza dell'ago di Haüy [*Fig.* 115]. Ho cura di prender per indicazione vera quella che l'elettroscopio mi dà colla ripulsione. E questa cautela mi pare essenziale, agendo con un elettroscopio come questo, che è già elettrizzato. Difatti un corpo allo stato naturale, preso anche poco conduttore, è attratto dal corpo elettrizzato. Operando in questo modo ho riconosciuto sempre che vi erano nel cristallo di turmalina le due elettricità: non sempre però erano queste alle due estremità. In un caso ho trovato i due stati elettrici contrari in punti assai prossimi sulla superficie. Sullo stesso cristallo legato a metà con un filo di platino, o con un filo conduttore qualunque, lo stato elettrico è conforme a quello che trova Becquerel, o almeno una delle elettricità è più forte dell'altra, e anche più forte di quella che si ha senza il filo di metallo. Un più esteso numero di ricerche potrebbe mostrare come influisca la giunta di quel filo a indebolire i segni di una delle elettricità.

Se si rompe un cristallo di turmalina nel tempo che è elettrizzata col riscaldamento, si trova che ognuno dei due o più frammenti è elettrizzato nello stesso modo in cui lo era l'intiero cristallo. Becquerel parla di un cristallo di turmalina che quantunque riscaldato non mostrava elettricità, e che si trovava invece elettrizzato nel modo solito in ognuno dei frammenti in cui era ridotto. L'esperienza dimostra ancora, che i frammenti di turmalina danno costantemente effetti elettrici più marcati dei cristalli intieri. Tutti questi fatti tendono a provare che i fenomeni elettrici della turmalina variano in ragione della lunghezza e della grossezza, e forse della diafanità dei cristalli; giacchè le più piccole turmaline prendono stati elettrici assai forti con piccoli cambiamenti di temperatura, mentre cristalli di 5 o 6 centimetri di lunghezza vogliono una temperatura assai alta per elettrizzarsi. Applicando questo ragionamento a turmaline sempre più piccole, ne verrebbe che le molecole integranti della turmalina, o i cristalli primitivi, acquisterebbero stati elettrici molto forti per piccolissimi cambiamenti di temperatura.

Seguitando a riscaldare un cristallo di turmalina si trova sempre, per ognuno di questi, un limite, oltre il quale cessa di mostrare il solito elettrizzamento contrario alle due estremità. Vi sono perciò per ogni cristallo due limiti di temperatura, che sembrano compresi fra $+10°$ C e $+150°$ C, fra i quali comincia e cessa qualunque cristallo di essere elettrizzato. I sigg. Rose e Riess studiando recentemente la piroelettricità dei cristalli, hanno trovato che in alcuno di questi uno dei poli è alla superficie e l'altro nell'interno.

Nella turmalina, nella calamina, nella skolezite, tutti cristalli i quali non hanno che un solo asse elettrico, si è trovato che questo coincide coll'asse principale cristallografico. Nel topazio e nella prehnite vi sono due assi elettrici opposti l'uno all'altro, e di cui i poli analoghi coincidono nell'interno del cristallo.

Veggiamo ora come avvenga lo sviluppo della corrente elettrica pel calore.

Devesi al signor Seebeck di Jena questa importante scoperta, che in seguito venne estesa da molti altri Fisici. Della quale scoperta, stando al metodo propostomi, non vi darò la storia; siccome non vi esporrò i fatti secondo l'ordine con che vennero trovati.

Prendo un filo di platino molto lungo e lo lego, o lo saldo alle due estremità del filo del galvanometro. Al mezzo di questo filo di platino che tengo disteso, accosto la fiamma di una lampada a spirito, un carbone acceso, e nulla veggo nel galvanometro. Conviene che questo filo sia abbastanza lungo perchè il calore non possa mai, nella breve durata dell'esperimento, giungere ai fili di rame del galvanometro. Immaginatevi di avere un galvanometro tutto di un solo filo di platino: allorchè il filo aggiunto è abbastanza lungo, può per il fine che ci proponiamo, esattamente supplire al galvanometro che abbiamo supposto fatto di un filo interamente di platino. Se invece di lasciar tutto disteso il filo di platino, l'aggruppo per un certo tratto, vi fo due o tre nodi l'uno sopra l'altro, e poi vengo a scaldare il filo movendomi colla fiamma verso il nodo fatto, cioè da *a* verso *b* (*Fig.* 140), all'istante l'ago del galvanometro devia fortemente, ed indica una corrente che nel filo di platino è diretta dal filo riscaldato al nodo, e quindi nel galvanometro dal nodo al al punto caldo del filo. S'intende bene ch'io proseguo a parlarvi della direzione della corrente come ho fatto fin qui. La direzione della corrente che si adotta è sempre

quella dell'elettricità positiva: si suppone in questo caso interrotto il circolo, come lo è dal liquido in una coppia di Volta, in quel punto in cui ho fatto il nodo, e perciò si dice che la corrente va dal filo caldo al nodo e cammina nel galvanometro dal nodo al filo caldo. Invece di un nodo fatto nel filo che ho preso continuo, posso prendere due pezzi di filo molto lunghi e uniti, al solito, ai capi del galvanometro. Scaldo alla lampada uno dei pezzi del filo di platino, e poi così caldo lo porto a contatto dell'altro: all'istante v'è forte deviazione, e la corrente è diretta nel punto del contatto dall'estremità calda alla fredda, e dalla fredda alla calda nel lungo filo del galvanometro. D'ora innanzi la direzione che indicherò, senza ripeterlo ogni volta, sarà quella della corrente nel filo del galvanometro.

Due fili di piombo uniti ai fili del galvanometro producono i medesimi risultati del platino operando nello stesso modo. Due cilindretti di antimonio egualmente disposti, uno dei quali è scaldato ed applicato sull'altro mostrano una corrente che va, al solito, dal cilindro freddo al caldo nel galvanometro. Operando nello stesso modo sopra fili di ferro, di rame, o di zinco, i risultati non sono più così costanti, e sembrano dipendere dalla natura delle superficie metalliche che si mettono a contatto, le quali pel riscaldamento si ossidano e prendono un diverso grado di conducibilità. Ho riscontrato in molte esperienze, che la corrente era diretta con questi metalli dall'estremità calda alla fredda nel filo del galvanometro, e che quindi agivano in modo inverso.

Si è trovato dai Nobili che per alcuni metalli, pel ferro principalmente, la direzione della corrente variava al crescere della temperatura. Il metallo che presenta costantemente dei fenomeni inversi al platino, all'antimonio, al piombo ec., è il bismuto. Due cilindretti di questo metallo uniti ai fili del galvanometro, uno dei quali è scaldato e applicato sull'altro freddo, danno una corrente diretta dal caldo al freddo nel galvanometro.

Ho trovato un modo curioso per produrre queste correnti termo-elettriche, e col quale non si riscontrano le anomalie che ho accennate. Consiste questo modo nell'immergere nel mercurio i due fili metallici uniti al galvanometro. L'esperienza si fa tenendo il mercurio in due capsule, riunendole con un tubo ricurvo di vetro pieno di mercurio e riscaldandone una. In questo caso i due fili dello stesso metallo s'immergono nel medesimo tempo nel mercurio delle capsule estreme. Si può anche adoperare una sola capsula di mercurio, scaldarla, e immergere i due fili l'un dopo l'altro. Infine si può tener freddo il mercurio e immergere i due fili, uno dei quali sia riscaldato: i risultati ottenuti operando in queste diverse maniere sono costanti, e quindi indipendenti dalla presenza del mercurio come corpo capace di produrre corrente elettrica col riscaldamento. Proveremo meglio or ora che il mercurio non è dotato di potere termo-elettrico sensibile. Tutti i metalli conosciuti e il carbone, eccettuato il solo bismuto, operando nei tre modi che ho detto e a qualunque temperatura, danno una corrente che va dall'estremità calda alla fredda nel filo del galvanometro. Per il solo bismuto questa corrente è diretta dall'estremità fredda alla calda. La direzione è opposta, nel maggior numero dei casi, operando attraverso al mercurio di quella che ha la corrente ottenuta pel contatto diretto dei due metalli.

Potrebbe tentarsi di riunire questi fatti, dicendo che insieme alla propagazione del calore si propaga la corrente elettrica; che l'elettricità positiva si muove nel senso in cui si propaga il calore, lasciando la negativa; e si potrebbe così vedere un lontano ravvicinamento fra questi fenomeni e quelli dell'elettricità per confricazione. Ricordatevi che se il corpo confricato è caldo prende sempre l'elettricità negativa. Allorchè si scalda un filo metallico continuo, il calore si propaga egualmente ai lati del punto riscaldato; e quando vi fossero due correnti prodotte, queste non si mostrerebbero circolando in direzione contraria. La corrente si ha quando si rende disuguale la propagazione del calore, che si fa meglio da una parte che dall'altra del punto riscaldato. Il nodo nel filo, aumentando in quel punto la massa del metallo, vi porta una maggior quantità di calore. Così accadrà nel contatto di un'estremità fredda colla calda: per l'istante del contatto vi sarà un flusso di calore verso l'estremità fredda. Infine frapponendo un corpo di natura diversa ai due estremi metallici, come il mercurio, il maggior calore che si propagherà molecolarmente sarà nel filo dello stesso metallo. Confesso però che nel darvi queste idee generali non è in me alcuna persuasione che sieno giuste; e il fo solo per la necessità di collegare in qualche modo un numero così grande di fatti sparsi. Quantunque poi non si può comprendere in esse il potere, in tutti i casi inverso, che presentano il bismuto e il ferro; ne' quali due metalli la corrente va dal punto riscaldato al nodo. I risultati che ho riferiti sono in qualche caso diversi da quelli di altri Fisici. Bastano le più piccole differenze nello stato della superficie, nel modo con cui il metallo si è

fatto solido, perchè sieno diversi i risultati che se ne hanno.

Mi sono assicurato in diversi modi, che il mercurio non aveva potere termo-elettrico apprezzabile. Ho disposto pel mercurio l'esperienza del filo di platino che ha un nodo. È facile a farsi con tubi o capsule di capacità diversa. Scaldando il mercurio in un punto separato da masse diverse di metallo, nulla si produce. Con tre capsule piene di mercurio e riunite da due tubi ricurvi pieni di mercurio, ho tentato di vedere se questo potere termo-elettrico si scopriva pel mercurio, mettendo a contatto il mercurio caldo col freddo. Per far ciò, i capi del galvanometro pescano nel mercurio delle capsule laterali. Scaldo il mercurio di uno dei sifoni, e poi lo tuffo nelle due capsule, e mancano i segni di corrente; che se pure qualche volta si riscontrano, si spiegano trovando che il calore s'è diffuso all' una o all'altra delle capsule estreme in cui sono i capi del filo del galvanometro. Il difetto del potere termo-elettrico del mercurio mi ha fatto credere che, in generale, ne sieno privi i corpi liquidi: e l'esperienza poi mi ha confermato in questo parere, perciocchè il bismuto, o un'amalgama solida di bismuto assai facilmente fusibile e che mostra un gran potere termo-elettrico allo stato solido, ne mancano allorchè sono liquidi. Credo adunque che possa stabilirsi, che i soli corpi allo stato solido posseggono la proprietà di produrre corrente elettrica per riscaldamento.

Vi è un altro modo di ottenere le correnti elettriche col riscaldamento. Preparate dei pezzi di antimonio o di bismuto fondendoli in diversi stampi; fatene dei coni, dei cilindri, dei circoli, dei quadri o telai di qual si sia forma. Poi sospendete un ago calamitato sopra un punto qualunque di questi pezzi di bismuto o d'antimonio, a modo che l'asse dell'ago sia parallelo al lato del quadro o della tangente del circolo metallico. Si trova allora, scorrendo colla fiamma nei diversi punti di queste masse d'antimonio o bismuto, che l'ago si mette a deviare, ed indica così che una corrente elettrica è prodotta. Vi sono però dei punti che riscaldati non producono corrente. Questi punti, chiamati da Sturgeon *punti neutri*, si mostrano sempre là dove il metallo fuso è stato colato nello stampo. Se ne hanno anche a volontà raffreddando rapidamente in un punto il metallo che sta per consolidarsi. In tutti quei luoghi in cui la cristallizzazione del metallo è diversa dal rimanente, corrisponde un punto neutro. Se si esamina la direzione della corrente che si ha riscaldando ai lati di un punto neutro, si trova che la corrente è inversa nei due casi. Così nella *Fig.* 141 scaldando in b, essendo la piccola linea verticale un punto neutro, la corrente va come le frecce, cioè $adcb$ è la direzione della corrente. Scaldando in a la direzione è inversa, cioè $b\,c\,d\,a$. Col mettere a confronto quadri di bismuto e d'antimonio, son giunto a legare questi fatti con quelli già descritti delle due estremità metalliche, una delle quali è riscaldata e s'applica sulla fredda.

Considerando lo strato o punto neutro, come il punto di contatto dei due cilindretti di bismuto o di antimonio che si mettono a contatto dopo averne riscaldato uno, si trova che la corrente va nei nostri quadri, e nel circuito lungo $a\,d\,c\,b$ corrispondente al filo del galvanometro, in una direzione inversa coi due metalli. Se è un quadro d'antimonio che scaldo in b, essendo la lineetta verticale un punto neutro, la corrente va da a o estremità fredda a b nel circuito lungo $a\,d\,c\,b$: se è invece un quadro di bismuto che scaldo in b' la corrente va dal caldo al freddo, cioè da b' ad a' nel circuito lungo $b'\,c'\,d'\,a'$.

Se si hanno due fili metallici diversi, di antimonio e di bismuto, di bismuto e rame, di ferro e platino ec., di forma, lunghezza e grossezza qualunque, e se si saldano estremità con estremità a modo da fare un circuito chiuso (*Fig.* 142) di forma qualunque, si trova che in questo circuito si stabilisce una corrente elettrica, tutte le volte che le due saldature o unioni $a\,b$, o $a'\,b'$ non hanno la stessa temperatura. Sospendete un ago calamitato presso un punto qualunque del circuito (*Fig.* 142): scaldate in ab, e l'ago devierà indicando una corrente elettrica diretta in una certa direzione. Se scalderete egualmente in $a'\,b'$, cesserà ogni deviazione. Se invece di scaldare in $a\,b$ porterete l'azione del calore in $a'\,b'$, vi sarà ancora corrente elettrica che anderà nel circuito in direzione contraria di quella della corrente ottenuta scaldando in $a\,b$. L'effetto sarà massimo allorchè la differenza di temperatura sarà la maggiore possibile fra le due saldature: in somma la corrente termo-elettrica diviene tanto più forte quanto più si scalda una delle saldature, e si raffredda l'altra. Si forma per il solito questo circuito saldando ai due capi del galvanometro le due estremità della *coppia termo-elettrica* (*Fig.* 142). Becquerel, Nobili ed altri tentando in questo modo coppie di diversi metalli, hanno trovato che riscaldando una delle saldature a $+20°$ C, mantenendo l'altra a 0°, si ottengono delle correnti il cui senso indica che i metalli devono disporsi nell'ordine seguente quanto

alle loro proprietà termo-elettriche: *bismuto, platino, piombo, stagno, rame, oro, argento, zinco, ferro, antimonio*.

Ciascuno di questi metalli è positivo allorchè è accoppiato con uno di quelli che lo precedono, è negativo rispetto a quelli che lo seguono. Perlocchè se nella *Fig.* 142 *a b* è un filo di ferro unito ai capi del filo di rame del galvanometro, e se si scalda a 20° una delle saldature, lasciando l'altra alla temperatura ordinaria, si ha una corrente che traversa la saldatura dal rame al ferro, e va per conseguenza dal ferro al rame nel filo del galvanometro. Un circuito di bismuto e di antimonio produce, ad eguale differenza di temperatura, una corrente più forte diretta dal bismuto all'antimonio nella saldatura.

Si è tentato di stabilire il rapporto fra la temperatura e la corrente sviluppata in un circuito di due metalli tenendo costantemente a zero una delle saldature, e accrescendo progressivamente la temperatura dell'altra. I risultati ottenuti sono diversi pei diversi metalli. In un circuito di ferro e rame l'intensità della corrente non cresce proporzionalmente alla temperatura; a 300° l'accrescimento è appena sensibile, e sopra questa temperatura la corrente diminuisce sino a cambiare la direzione. Lo stesso accade in un circuito di zinco e oro; cessa di svilupparsi corrente elettrica a 150°, e ad una temperatura più elevata la corrente s'inverte. Coi circuiti di ferro e argento, di ferro e rame, di rame e platino, di argento e stagno, la intensità della corrente cresce proporzionalmente alla temperatura sino a circa 40°. Una delle saldature è successivamente riscaldata, e l'altra tenuta costantemente a zero. Si fanno queste esperienze disponendo i circuiti in modo da potere immergere le due saldature in un bagno liquido a temperature determinate. Per le temperature non molto alte, questa proporzionalità fra la temperatura e l'intensità della corrente si verifica anche per un circuito di bismuto e d'antimonio. Vedremo più innanzi che l'esistenza di questo rapporto è della maggiore importanza. Se si compone un circuito (*Fig.* 143) con un certo numero di fili o verghe di due metalli, saldati alternativamente estremità con estremità, e se si scaldano tutte le saldature di numero pari 2, 4, 6 ec., o di numero dispari 1, 3, 5, 7, tenendo nello stesso tempo le altre a una temperatura inferiore, si hanno correnti che, per una data differenza di temperatura producono delle deviazioni nell'ago del galvanometro, le quali crescono col numero delle coppie termo-elettriche disposte a pila.

Fourier e Oersted costruirono i primi una pila termo-elettrica con verghe di antimonio e bismuto. La disposizione della loro pila era tale, da poter immergere nel ghiaccio tutte le saldature di numero dispari, e scaldare quelle di numero pari o viceversa. Il termo-moltiplicatore immaginato dal Nobili è una pila termo-elettrica fatta con verghe di bismuto e di antimonio saldate insieme, e disposte assai presso l'una dell'altra. Le verghe si tengono separate l'una dall'altra con un foglio di carta. Questo fascio di coppie si ferma con mastice entro un astuccio o cilindro d'ottone, e due coperchi mobili chiudono il cilindro a guisa di scatola (*Fig.* 149). Quando si vuol fare agire quest'istrumento si mantiene costante la temperatura di tutte le saldature che guardano verso un'estremità del cilindro, e si scaldano tutte le altre. Si posson dare a queste coppie delle forme molto diverse che le rendono adattate nelle diverse ricerche: *c*, *c'* sono le due estremità della pila che s'uniscono ai capi del galvanometro. Nel Trattato del Calore vedremo come il termo-moltiplicatore del Nobili abbia servito ad arricchire questa parte della Fisica di molte importanti scoperte.

Non lascerò di trattare dei circuiti o coppie termo-elettriche senza dirvi dell'applicazione importante che se n'è fatta, e del come si è fatta questa applicazione alla misura delle temperature. Già vi esposi in che consiste il termo-moltiplicatore del Nobili. Pouillet ha adoperato, a questo fine, una coppia termo-elettrica per la misura delle alte temperature. Ha egli costruita la sua coppia con due fili metallici molto sottili, scelti fra due metalli poco distanti nella scala termo-elettrica, siccome sono il platino e il palladio o il platino impuro. Si torcono insieme le due estremità di questi due fili, e le altre due si legano ai fili del galvanometro. Si conserva costante la temperatura delle due unioni coi fili del galvanometro, e si fa variare quella dell'unione dei due fili platino e palladio. Si fa la graduazione di questo istrumento con un termometro ad aria, di cui vi darò notizia in altro tempo.

Mal si possono ritenere per giuste le indicazioni di questo termometro, dal momento che si sa che la corrente sviluppata dall'azione del calore è ben lungi dal crescere proporzionalmente al calore. Pouillet dice che a 1000° la corrente termo-elettrica ha l'intensità che aveva a zero, e che al di là di questo numero continua a crescere. Per servirsi di quest'istrumento con sicurezza converrebbe ritenere invariabili i risultati ottenuti allorquando si è gradnato il termometro in confronto di quello ad

aria. Ma è molto probabile che l'azione stessa del calore alteri la conducibilità e il potere termo-elettrico dei metalli della coppia. Un apparecchio simile a quello di Pouillet, ma fatto con metalli, fra i quali sia più forte la corrente termo-elettrica che si sviluppa per una data differenza di temperatura, può usarsi per avere la temperatura al fondo del mare. Si fa quest'apparecchio con rame e ferro introducendovi un galvanometro. Si tien fissa la temperatura di una delle unioni o saldature, mentre l'altra si porta in mezzo al corpo di cui si vuol conoscere la temperatura o la differenza di questa rispetto a quella del mezzo in cui trovasi l'altra unione. Si potrebbe anche sollevare la coppia termo-elettrica nell'atmosfera con palloncini a gas idrogene. Conviene però osservare che l'esperienza sarebbe mal fatta, se si facessero due confronti a diverse profondità o altezze con diverse lunghezze di circuito, essendo necessario tener costante la lunghezza del medesimo.

Peltier ha avuto l'idea ingegnosa di adoperare la coppia termo-elettrica per misurare il calore sviluppato dalla corrente. Vedremo in brevo quale importante risultato egli abbia ottenuto da questa applicazione. Basta perciò di applicare il filo, che la corrente riscalda, a contatto della saldatura di una coppia termo-elettrica. Questo stesso Fisico posando una sottile capsula di platino sopra tre coppie termo-elettriche a guisa di treppiedi, ha potuto determinare i più piccoli cambiamenti di temperatura che avvengono nel liquido che bagna la capsula. Così ha distinto tutti i casi in cui v'è azione chimica fra due corpi, la quale non avviene senza svolgimento di calore, da quelli in cui v'è soluzione, v'è raffreddamento. Si può usare di questo mezzo per farne un igrometro, o sapere se è molta o poca l'umidità dell'aria. Mettendo acqua nella capsula essa svapora, e tanto più facilmente quanto più l'aria è priva d'umidità: ora l'evaporazione produce freddo, e quindi v'è una corrente termo-elettrica che l'indica. Becquerel e Brechet hanno ultimamente adottata un'analoga disposizione per misurare la temperatura dei visceri degli animali. Preparano perciò degli aghi sottilissimi saldando insieme due aghi, uno d'acciaio e l'altro di rame, che coprono di vernice, e che riuniscono ai capi del filo galvanometrico; introducono l'ago termo-elettrico in quella parte che vogliono esaminare, e intanto tengono le altre due unioni ad una temperatura costante.

Finalmente Dutrochet si è assicurato recentissimamente dell'esistenza del calor proprio delle piante con un circuito termo-elettrico, tenendo una delle saldature dentro un ramo di una pianta in vegetazione e l'altra saldatura in un simile ramo di recente distaccato dalla pianta. E pare bene che quest'illustre Fisiologo abbia, nelle sue esperienze, provveduto contro le molte cause d'errore che possono esservi.

Prima di chiudere il Trattato delle sorgenti dell'elettricità, mi conviene eziandio mostrarvi come l'elettricità accumulata sulle armature di una batteria possa, scaricandosi per un lungo filo metallico, far deviare l'ago calamitato e ridursi a corrente. Colladon è il primo che abbia ottenuto questo risultato. È adunque necessario, a tale effetto, che il filo del galvanometro tante volte ripiegato sopra se stesso, sia coperto di due o tre strati di seta, e ben verniciato. Senza di ciò l'elettricità salterebbe da un filo all'altro. Anche un galvanometro ordinario dà segni di deviazione quando comunica colle armature di una batteria o anche col conduttore di una macchina elettrica, mentre l'altro comunica o col suolo, o meglio coi cuscini della macchina isolata. Non conviene però creder sempre che questi segni siano di corrente elettrica. Perciò è utile mutare le comunicazioni, cioè mettere quel capo del filo del galvanometro che comunicava col conduttore a contatto dei cuscini, e fare viceversa dell'altro. Allora, se i segni erano di corrente, la deviazione dell'ago si deve invertire. Non accadendo questo, i movimenti dell'ago non sono che attrazioni ordinarie dei corpi elettrizzati. Colladon e Peltier hanno adoperato il galvanometro preparato colla vernice, e a moltissimi giri per l'elettricità atmosferica: uno dei capi del galvanometro comunica col suolo, l'altro coll'estremità di una verga sollevata ed isolata. Il senso in cui si fa la deviazione indica la direzione della corrente, e quindi quale è lo stato elettrico dei diversi strati dell'atmosfera in cui è sollevata l'estremità superiore della verga.

LEZIONE LIII.

Propagazione della corrente. — Teoria di Ohm—Conducibilità dei corpi solidi e liquidi. — Correnti assorbite o derivate. — Conducibilità d'un sistema qualunque rispetto alla direzione della corrente.

Ora che conosciamo tutte le cause che sviluppano elettricità, che abbiamo visto in quali casi quest'elettricità si presenta allo stato di tensione, in quali allo stato di corrente, come questi due stati dipendono dalla varia natura del sistema in cui si sviluppa e di quello in cui l'elettricità deve muoversi; non ci rimane più che a studiare le circostanze generali della propagazione della corrente elettrica ed i suoi effetti.

Tutte le volte che in un sistema qualunque di corpi conduttori v'è un punto in cui, per una delle azioni particolari che abbiamo esaminate, l'elettricità naturale è scomposta, sono separati i due fluidi, e se questa separazione si opera per un'azione continua, permanente, i due fluidi si riuniscono, si neutralizzano per il rimanente del sistema, e continua questo movimento incessantemente, continuando la sorgente a ristabilire gli stati elettrici contrari. La corrente può rappresentarsi con una serie di piccole scariche, di stati elettrici contrari i quali non giungono che a tensioni infinitamente piccole, e che durano un istante infinitamente piccolo di tempo. Continueremo a considerare la propagazione della corrente come abbiamo fatto per la scarica o corrente istantanea della batteria, ammettendo che in tutte le molecole del circuito avvenga una serie di scomposizioni e di ricomposizioni successive del fluido elettrico naturale. Quando fu trattato di questo, vi dissi già che non si poteva in miglior modo concepire un'idea della immensa velocità con cui la scarica elettrica si propaga.

Quale è la velocità con cui si propaga la corrente elettrica? Qualunque sia il corpo conduttore per cui la corrente si propaga, sia scelto fra i metalli, sia scelto fra i liquidi; qualunque sia l'effetto della corrente che si prende per scorgere la traccia della sua propagazione, non si è giunti sin qui a trovare alcun intervallo di tempo sensibile fra il principio della corrente e il momento in cui i suoi effetti si mostrano, per quanto sia lontano dalla sorgente il punto dell'arco su cui si notano gli effetti. Egli è facile immaginare, intorno a ciò, come le esperienze sono fatte. Si fa un arco di metallo molto lungo e si dispone presso ad aghi calamitati, oppure s'interrompe in un liquido in diversi punti della sua lunghezza. Si toccano colle estremità del filo o arco i due poli d'una pila. All'istante tutti gli aghi si muovono e tutti *egualmente*, tutti i liquidi si scompongono e tutti *egualmente*. La corrente ha dunque la stessa intensità in tutti i punti; e se si potesse ammettere che ciò che chiamiamo elettricità fosse un fluido ponderabile, si direbbe che ad ogni istante passa per ogni sezione del canale scaricatore la stessa quantità di quel fluido. Se l'arco attraverso del quale la corrente passa è di diversi fili metallici, di varie dimensioni, non è meno vero che l'intensità in tutte le parti del circuito prese di egual lunghezza ed egualmente misurate, si trova la stessa. Pouillet lo ha provato contando il numero delle oscillazioni che fa un ago calamitato posto alla stessa distanza dall'asse del circuito. Ha egli così trovato che, qualunque sia questo circuito, il numero delle oscillazioni è lo stesso in tutti i suoi punti. Vedremo più innanzi che è questo un modo per stabilire l'intensità d'una corrente.

Si approfitta oggi dell'immensa velocità con cui la corrente elettrica si propaga per un filo metallico, per averne un mezzo onde trasmettere dei segnali. Si hanno così i telegrafi elettrici. Se Wheatstone, il Fisico che ha più di tutti realizzata quest'applicazione, giunge a dare alla Società un mezzo tanto rapido di diffusione dei segni, non vi sarà più chi creda, come pur troppo si fa da molti, e contro tante luminose prove, che le ricerche di gabinetto sono senza risultato per il Genere Umano.

Questa grandissima velocità della corrente può pur provarsi interrompendo il circuito in diversi punti, e così facendo scoccare una scintilla ad ogni interruzione. Le scintille si veggono nello stesso tempo. In tal modo si sono accese in diversi punti dell'interno di un monte delle masse di polvere nello stesso tempo, e lo sforzo contemporaneo è stato capace di effetti grandissimi.

In un circuito qualunque percorso dalla corrente, l'elettricità non si porta alla superficie come l'elettricità di tensione, e come fa in parte la scarica della batteria. Della qual verità si può facilmente aver una prova. Se si forma un arco scaricatore con un sol filo metallico, oppure con un fascio di fili egualmente lunghi e scelti in modo che colla somma delle loro sezioni facciano la sezione del primo filo, si trova

cha l'azione sull'ago calamitato del fascio dei fili è eguale a quella del solo filo più grosso. La superficie è ben diversa nei due casi: si prova anche più evidentemente tuffando le due estremità del galvanometro in un canale di mercurio, o d'un altro liquido percorso dalla corrente. Se si preparano le estremità del galvanometro in modo che sia costante la loro superficie metallica, ciò che si fa coprendole di vernice fuori che in certi punti, si trova che la deviazione dell'ago è la stessa a qualunque profondità si tuffino nel canale percorso dalla corrente. La corrente che si mostra in questo caso, è una porzione della corrente che viene *assorbita* o che è *derivata*, come dice Pouillet. Questa porzione circola per il circuito del galvanometro, molto più lungo dell'intervallo costante che passa fra le due estremità del medesimo. Di queste correnti *derivate* parleremo in breve.

È tempo che vi esponga la teoria di Ohm: a tale oggetto comincerò dal darvi la definiziona di alcune espressioni. Questo Fisico chiama *forza elettro-motrice* quella cagione che genera una corrente elettrica se esiste in un punto qualunque di un circuito chiuso, e produce tensione se il circuito è interrotto.

Per *forza elettro-motrice* noi ci guarderemo bene d'intendere ciò che significava con ciò il Volta: è un'espressione generica cha comprende l'azione chimica, il calore, la confricazione e qualunque altra sorgente d'elettricità.

Per *resistenza* poi del circuito Ohm intende l'ostacolo opposto al passaggio della corrente elettrica nel corpo cha deve attraversare.

Allorchè la velocità della corrente è accresciuta, o diminuita in un punto qualunque del circuito, e ciò o facendo variare la forza elettro-motrice, o la resistenza, la velocità aumenta o diminuisce corrispondentemente in ogni punto del circuito. In tal guisa nello stesso dato tempo passa sempre la stessa quantità d'elettricità per ogni sezione trasversale del circuito. Abbiamo visto come questa verità sia dimostrata dall'esperienza.

Ohm esprime la forza della corrente con questa formola semplicissima: $F=\frac{E}{R}$, chiamando F la forza o le forze elettro-motrici, ed R la resistenze. La forza della corrente è direttamente proporzionale alla somma delle forze elettro-motrici che sono in attività nel circuito, ed è inversamente proporzionale alla resistenza *totale* di tutte le sue parti.

Per resistenza totale del circuito deve intendersi con Ohm la sua lunghezza *ridotta*, cioè la lunghezza di un filo di rame di una data grossezza, di cui la resistenza per una data forza elettro-motrice sia eguale a quella che è presentata dal filo metallico reale interpolare, e dalla somma degli strati liquidi e metallici che costituiscono la pila.

Fechner e Pouillet hanno stabilito coll'esperienza, prendendo per forza elettromotrice costante una coppia termo-elettrica, che la resistenza di un filo metallico alla corrente è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e inversamente alla sua sezione, cioè $R=\frac{S}{L}$. Per cui è possibile di determinare la conducibilità di due o più fili di diverse sostanze ridotte alla stessa sezione. Se le forze della corrente saranno ridotte le stesse, adoperando la medesima forza elettro-motrice, dovranno essere le lunghezze de' due circuiti in ragione diretta della loro rispettive conducibilità. Se si suppone di far variare la sezione del filo e di tener costanti le lunghezze, le conducibilità saranno in ragione inversa delle grossezze o delle sezioni dei fili. Pouillet ha trovato con questo metodo, chiamando 100 la conducibilità del mercurio, le conducibilità espresse per altri metalli dai numeri del seguente quadro.

	Conducibilità
Palladio	5791
Argento al titolo di 963	5152
Id. ——— 900	4753
Id. ——— 857	4221
Id. ——— 747	3882
Oro puro	3975
Oro al titolo di 951	1338
Id. ——— 751	714
Rame puro	3838
Id. rincotto	3842
Platino	855
Ferro	700 / 600
Mercurio	100

La temperatura fa variare la conducibilità dei metalli rendendola generalmente minore. Per alcuni corpi la conducibilità è assai diminuita anche per un piccolo riscaldamento. Da 0°a+100°C la conducibilità del ferro si riduce al terzo. Nel quadro che ho dato, il quale è dovuto ai lavori di Pouillet, manca la conducibilità del bismuto e dell'antimonio, quantunque importasse assai di conoscerle. È difficile di avere lunghi cilindri di questi metalli dello stesso diametro ed omogenei, non potendosi passare alla trafila. I risultati che ho riferiti sono stati ottenuti adoperando sorgenti termoelettriche e correnti idroelettriche. La legge generale che ho data, e che esprime il rapporto fra la forza della corrente e la conducibilità, la lunghezza e la sezione del circuito, si verifica sempre: in ogni caso, volendo calcolare colla data formola la forza di una corrente, sia essa dovuta a una sorgente termo-elettrica o a una idro-elettrica, ad una coppia o a più coppie, conviene sempre ridurre la resistenza dell' elemento stesso, cioè i due metalli e il liquido nel caso della coppia voltiana, in una data lunghezza di un filo metallico preso per unità e rappresentante la stessa resistenza che offre quel circuito.

Per farvi questa riduzione convien variare successivamente la lunghezza del circuito interpolare di una coppia, o termo-elettrica o idro-elettrica, a forza costante, aggiungendo o togliendo delle lunghezze determinate di un dato filo metallico. Essendo le diverse forze della corrente, che così si otterranno, inversamente proporzionali alle lunghezze totali, o resistenze dell' intero circuito, si avranno per queste delle lunghezze variabili, a cui andrà aggiunta una quantità costante di resistenza, o cioè una lunghezza di quello stesso filo, che sarà la lunghezza ridotta del circuito interno. Sia X questa lunghezza ridotta quando I è la forza trovata della corrente; I' sia questa forza quando la resistenza del circuito è X+ una lunghezza l nota di un dato filo di rame: dovrà essere $I:I' :: X+l:X$ da cui

$X = \frac{I'l}{I-I'}$. Facendo altre esperienze si troveranno ancora altre espressioni in cui X sarà sempre costante, e però facile a determinarsi.

Risulta dagli stessi principi, che se si aumentano o si diminuiscono proporzionalmente la forza elettro-motrice e la resistenza del circuito, la forza della corrente dovrà rimanere la stessa; ossia che $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$. Dal che segue, che una sola coppia produrrà lo stesso effetto di una pila di un numero qualunque d'elementi, purchè non s'interponga nel circuito alcuna resistenza addizionale. Noi abbiamo visto che questo risultato si verificava coll' esperienza. Ne viene pure che un elemento termo-elettrico e uno voltaico produrranno la stessa corrente, se la grande inferiorità della forza elettro-motrice del primo è compensata dalla minore e corrispondente resistenza del suo circuito tutto metallico. Così, in un confronto fatto da Pouillet, si è trovato che la resistenza o la lunghezza ridotta di un circuito idro-elettrico di 12 elementi era di 56340 metri, mentre non era che di 30 metri per la coppia termo-elettrica. La forza delle due correnti era la stessa.

Qualora poi ad un circuito s'aggiunga una resistenza, è chiaro che la diminuzione che ne risulterà nella forza della corrente sarà tanto minore, quanto più essa è piccola proporzionalmente alla resistenza totale del circuito. Per cui, introducendo una stessa resistenza in due circuiti di egual forza le due correnti possono essere diversamente indebolite. Un solo elemento voltiano di cui la forza è espressa da $\frac{E}{R}$, ed una pila di cui la forza è espressa da $\frac{nE}{nR}$, prendendo per n il numero degli elementi tutti eguali, sono circuiti in cui la forza della corrente è la stessa; ma se una resistenza è aggiunta egualmente ai due, l'indebolimento sarà più grande pel primo che per la pila. Sia r la resistenza aggiunta; la forza $\frac{E}{R}$ sarà $\frac{E}{R+r}$, e la seconda diverrà $\frac{nE}{nR+r}$: è chiaro che il valore delle due frazioni è diverso, e che se n è molto grande, la seconda frazione avrà diminuito molto meno della prima.

La forza di una corrente di una pila, di cui il circuito interpolare è un filo metallico, è espressa dalla formola

$$F = \frac{nE}{\frac{nRD}{S} + \frac{rl}{s}}$$

: nella quale F è la forza della corrente, E la forza elettro-motrice di un elemento solo, n il numero degli elementi, R la resistenza specifica del liquido, D la grossezza dello strato liquido, o la distanza fra una lamina e l'altra, s la sezione del liquido, r la resistenza specifica del filo metallico, l la sua lunghezza, s la sua sezione.

Introducendo questa formola, si trovano le seguenti leggi: la forza elettro-motrice di

un circuito varia col numero degli elementi e colla natura dei metalli e dei liquidi che compongono ogni elemento, senza dipendere minimamente dalle dimensioni di ognuno delle loro parti : la resistenza di ogni elemento è direttamente proporzionale alla distanza a cui si trovano le lamine l'una dall'altra e alla resistenza specifica di questo liquido, e inversamente proporzionale alla superficie delle lamine in contatto col liquido : la resistenza del filo congiuntivo è inversamente proporzionale alla sua sezione.

Wheatstone, fondandosi sulla teoria di Ohm, si è occupato in questi ultimi tempi della costruzione di apparecchi molto ingegnosi, che servono a determinare con molta facilità e precisione la lunghezza ridotta del circuito interno, la resistenza del filo del galvanometro, e quella del liquidi. Egli chiama *reostata* un istrumento che tiene nel circuito, in cui è pure un galvanometro, e per mezzo del quale, facendo variare la lunghezza del filo metallico, riconduce l'ago ad una deviazione costante. A questo modo riesce a paragonare le forze elettro-motrici delle diverse sorgenti. Consiste il reostata in due cilindri, uno di legno e l'altro metallico: intorno alla superficie scannellata del primo è avvolto a spira un filo di rame, che rimane in tal modo in tutti i punti isolato. Onde diminuire la lunghezza del filo congiuntivo, fa che questo filo si avvolga intorno al cilindro metallico : in questo caso le spirali del filo non rimangono più isolate, e la lunghezza reale è quella che rimane avvolta intorno al cilindro di legno. La unità di resistenza adottata da Wheatstone è quella che presenta un filo di rame lungo 0m,304, e che pesa 5 *gr.*, 9.

Volendo paragonare fra loro due elementi voltiani, o pile, basta di adoperare circuiti di varia resistenza, a segno da ottener sempre la stessa forza al galvanometro. È chiaro che le forze elettro-motrici staranno come le resistenze.

Darò qui alcuni dei numeri trovati da Wheatstone confrontando fra loro le forze elettro-motrici di un circuito, in cui erano successivamente oggiunti 1, 2, 3, 4, 5 elementi simili. Le resistenze sono espresse dal numero dei giri fatti fare al cilindro di legno per allungare il circuito, avvolgendovi sopra il filo a spirale isolata. 1 elemento esige 30 giri; 2 elementi 61; 3 elementi 91; 4 elementi 120; 5 elementi 150 giri. Si vede che la forza elettro-motrice è, come lo indica la teoria, proporzionale al numero degli elementi disposti in serie.

In altre esperienze Wheatstone ha paragonato diverse sorgenti fra loro, ed ha trovato, come già per alcune altre esperienze si era fatto, che la maggior forza elettromotrice si aveva adoperando per liquido una soluzione del sale di cui il metallo sia quello stesso che compone l'elemento negativo della coppia. Così la forza della corrente è la stessa adoperando una coppia di amalgama di zinco, di rame e fosfato di rame, e una simile nella quale invece del fosfato di rame v'è l'acido solforico allungato: ma in questo secondo caso la resistenza è espressa da 20 giri del cilindro di legno, mentre lo è da 30 nel primo. Con una coppia formata di amalgama di potassio, di acido solforico allungato e di perossido di piombo per elemento negativo, la resistenza era misurata da 98 giri. È dunque questa la coppia, di cui la forza elettro-motrice supera tutte le altre. Wheatstone paragonando una sorgente termo-elettrica e una idro-elettrica ha trovato, che dando sempre la stessa deviazione nell'ago, per la prima la resistenza era di 8 giri, e per la seconda 757 giri. Il rapporto era di 1: 94,6 ; rapporto che non differisce da quello di Pouillet che già abbiamo dato, e che è 1: 93.

Infine Wheatstone ha applicato questi stessi metodi alla misura della conducibilità dei liquidi, e lo ha fatto mettendosi al coperto delle correnti *secondarie*, che vedremo più innanzi svilupparsi tutte le volte che una corrente è trasmessa da un metallo in un liquido. Duolmi di non potervi qui esporre i risultamenti ottenuti da questo distinto Fisico, non avendoli egli per anche pubblicati.

Faraday ha molto studiato la conducibilità nei liquidi o nei corpi fusibili. È giunto quel Fisico a mostrare in un gran numero di casi, che certi corpi che non conducono allorchè sono solidi conducono allo stato liquido o allorchè sono fusi dal calore, nel qual caso vengono scomposti dalla corrente. Sono di questo genere il ghiaccio, il nitro, la potassa, la soda, il solfato di potassa, l'acetato di piombo ec.

Vi sono dei corpi che non acquistano, anche fusi, la conducibilità, e sono quelli che la corrente non scompone. Un solo esempio si oppone a questa legge di Faraday, ed è quello del bijoduro di mercurio, il quale si fonde col calore e diviene conduttore senza scomporsi. Anche i corpi semplici o elementari, iodio, cloro, bromo, zolfo, ec. non hanno conducibilità, e allorchè aumentano quella dell'acqua cui sono aggiunti, non è mai che in seguito di nuove combinazioni che si sono formate. In qual modo la conducibilità dell' acqua è accresciuta coll'aggiunta di un gran numero di corpi? Potrebbe credersi che quest'aumento di conduci-

bilità fosse comunicato all'acqua dallo stato liquido che così acquista il corpo solido che vi si discioglie: in prova della quale conclusione ricorderò che quel corpi che fusi non diventano conduttori, non sono nemmeno atti ad accrescere la conducibilità dell'acqua in cui vengon disciolti. Sono in questo caso lo zucchero e l'ioduro di zolfo.

Il calore favorisce la conducibilità delle soluzioni, e tanto più, quanto più sono esse dotate di poca conducibilità ad una bassa temperatura. Allorchè il liquido si raffredda, si trova che conserva la conducibilità acquistata ad una temperatura superiore a quella a cui è ridotto.

Già vi ho mostrato che immergendo due lamine unite ai fili del galvanometro in un circuito elettrico, una porzione della corrente era assorbita o derivata. Nei liquidi queste correnti derivate sono assai più manifeste. Eccovi adunque le leggi di tali correnti derivate: le quali leggi risultano dalla teoria di Ohm che v'ho esposto, e ben prima le aveva dedotte coll'esperienza. Suppongo di aver due lamine di platino unite ad un'asta orizzontale di legno verniciato in cui scorrono, e che possono perciò allontanarsi l'una dall'altra, ed abbassarsi. Se si tuffano le due lamine in un canale liquido percorso dalla corrente elettrica, si trova che l'intensità della corrente assorbita cresce al crescere dell'estensione delle lamine immerse. Se si fa un canale liquido che abbia diverse sezioni, e con liquidi diversi, disposti successivamente l'un dopo l'altro, si trova che tenendo le due lamine ad una costante distanza l'una dall'altra, l'intensità della corrente assorbita è in ragione inversa della sezione del canale e della sua conducibilità. Potrebbe questa legge offrire un mezzo per determinare il rapporto di conducibilità dei diversi liquidi: al qual fine basterebbe ridurre ad eguale intensità le correnti assorbite in due liquidi, facendo variare la distanza delle due lamine assorbenti. Certo egli è, che nel liquido il più conduttore la distanza delle lamine assorbenti sarebbe più grande e proporzionale alla conducibilità maggiore. Si trova infine che questa corrente assorbita cresce crescendo la distanza alla quale si tengono immerse le due lamine o estremità del galvanometro.

Poichè in tutti i casi l'intensità della corrente assorbita è in un certo rapporto coll'intensità della corrente totale del circuito, si può col fatto delle correnti assorbite studiare la diffusione della corrente elettrica in un liquido. Intorno a questo soggetto si occuparono De la Rive e Prevost, sono già molti anni, ed io vi son tornato recentemente. Suppongasi un canale di forma regolare, un cilindro, in cui sia la corrente trasmessa da due lamine che abbiano per sezione la base stessa del cilindro: in questo caso la corrente assorbita in qualunque punto, a qualunque profondità, ha la stessa intensità. Ma non è più così laddove il canale abbia delle sezioni diverse, perciocchè vedesi allora la corrente avere una intensità minore in quei punti dell'arco che appartengono ad una sezione maggiore. L'intensità di questa corrente è massima nella linea retta che riunisce i centri delle due lamine metalliche che trasmettono la corrente. Da questa linea va sempre diminuendo; se non che tale diminuzione è minore nel caso di un liquido buon conduttore. È poi curioso l'osservare che immergendo le due lamine di dietro ai punti nei quali la corrente si trasmette nel liquido, si hanno ancora de' segni di corrente assorbita, e tanto più quanto più il liquido è cattivo conduttore. Si abbia un largo canale, in cui una corrente sia trasmessa da due lamine metalliche, la superficie delle quali sia molto più piccola della sezione del canale. Movendo le due lamine assorbenti lungo la linea che unisce i due poli, l'intensità della corrente assorbita è massima presso i due poli, e diminuisce fino ad esser ridotta al minimo al mezzo di quella linea. La direzione della corrente assorbita è sempre tale, che l'estremità o lamina in cui la corrente entra dal liquido è la più vicina al polo positivo. Ai lati di questa linea si scorgono ancora dei segni di corrente assorbita, che mostrano distendersi la corrente in tanti filetti che si riuniscono o partono dai due poli, ed essere tanto più grande questa diffusione quanto più il liquido è cattivo conduttore.

Allorchè si ricorre al principio delle correnti derivate, per avere indizio della corrente che passa in un canale conduttore qualunque, convien sempre assicurarsi che le due lamine di platino che si adoperano generalmente, non producono corrente da loro stesse; il che può avvenire in certe circostanze, come vedremo fra poco. Si tuffano pertanto nel liquido le lamine prima che la corrente vi passi, e si attende che cessi, se v'era, ogni segno di deviazione. E' cura essenziale ad aversi quella che non vari, nell'esperienza, la distanza fra le due lamine e la estensione della loro superficie che sta immersa. Perciò si coprono di vernice, e si comincia dal tuffarle interamente: a qualunque profondità vengano poi immerse, non varia mai l'estensione della superficie a contatto del liquido.

Il difetto di queste precauzioni ha indotto molti Osservatori in errore, facendo ammet-

tere l'esistenza di correnti elettriche dove non erano.

Sin qui ho supposto il canale liquido omogeneo; ma può egli esser disposto in maniera, da obbligare la corrente a cambiar direzione. Il che appunto succede se s'interrompe il circuito con lamine metalliche [*Fig.* 136], o con diafragmi di membrane, e s'introducono poi diversi liquidi. In questi casi la corrente prodotta da una sorgente costante è sempre indebolita. È inutile ch'io vi mostri che tutte le volte che un arco o una lamina metallica separano un liquido percorso dalla corrente [*Fig.* 144], tutte le estremità metalliche a contatto del liquido si ricoprono dei prodotti della chimica decomposizione, e all'istante si veggono tutte coprirsi di bolle di gas. Le due estremità più prossime, quelle che pescano nella stessa cavità, sono sempre poli di nome contrario, cioè un'estremità da cui la corrente entra nel liquido e una per cui l'abbandona. Per questi salti dal liquido al solido, dal solido al liquido, e in generale in questi cambiamenti di conduttore, la corrente perde d'intensità; un circuito così misto conduce assai men bene di un circuito omogeneo. Vedremo più innanzi che allorquando due lamine metalliche trasmettono la corrente attraverso ad un liquido, per quanto sieno scelte omogenee, pure per il solo passaggio della corrente diventano capaci di produrre una nuova corrente. e difatti separate dalla pila e immerse in un liquido si ha questa nuova corrente, e si trova che è in direzione contraria di quella che l'ha prodotta. Questa corrente, che dicesi *secondaria*, si produce anche quando circola la corrente che chiamerò *primitiva* : e vedremo altresì più innanzi che questa corrente secondaria si è quella che indebolisce la corrente, e fa diminuire l'attività della pila allorchè il circolo sta chiuso. Si sarebbe perciò potuto attribuire l'effetto dei diafragmi metallici che ora studiamo, all'azione delle correnti secondarie che circolano in direzione contraria di quella della pila. Ma soggiungiamo alcune esperienze, per le quali è evidentemente provato che il solo cambiamento di conduttore, indipendentemente da qualunque corrente secondaria, produce indebolimento, cagiona una resistenza alla corrente. Immaginatevi un largo canale pieno di liquido, e in un punto qualunque di questo canale immergete un telaio di lamine di platino. Lo stesso liquido sia e dentro al telaio e nel canale, senza però che comunichino insieme, ciò che si fa fissando con mastice il telaio al fondo del canale. Se si fa passare una corrente nel liquido del canale, e se vi si fanno pescare le estremità del galvanometro per averne delle correnti derivate, si trova che appena se n'ha indizio tentando il liquido contenuto nel telaio di platino. Si vede da ciò che la corrente diffusa in una massa liquida, devia, scansando il nuovo conduttore che si trovi sulla linea che percorre. È inutile anche qui avvertire, che parlando di corrente adotto il linguaggio comune, e che la direzione supposta è sempre quella del solo fluido positivo.

Costruendo un canale di diversi liquidi separati da diafragmi di membrana, ho trovato che anche in questo modo v'era indebolimento nella corrente. A spiegare il quale non possiamo ricorrere, in caso simile, alla corrente secondaria sviluppata sui diafragmi metallici, giacchè mancano.

Facendo variare l'intensità della corrente trasmessa in un liquido che non ha diafragmi, e notando l'indebolimento che soffre allorchè s'aggiungono dei diafragmi, si trova che l'indebolimento è tanto minore quanto più è grande il numero delle coppie della pila. Aggiungendo al primo diafragma un secondo, un terzo ec., la perdita d'intensità della corrente non cresce proporzionalmente al numero dei diafragmi.

I diafragmi che indeboliscono meno la corrente sono quelli fatti di metalli che soffrono una maggiore azione chimica dai liquido in cui sono immersi.

Non conosciamo ancora con precisione tutti gli elementi che intervengono nel produrre la resistenza che presenta un diafragma metallico in mezzo ad un liquido traversato da una corrente.

Finirò di parlarvi dei fenomeni generali della propagazione della corrente elettrica nei liquidi, dandovi un cenno di una singolare differenza di trasmissibilità secondo la direzione della corrente. In diverse maniere può farsi un circuito al passaggio della corrente, che non abbia la stessa conducibilità al polo positivo e al negativo. Si trova, in generale, che la corrente è trasmessa con più facilità allorchè entra nel cattivo conduttore e passa al buono, di quello che quando entra nel buono e passa nel cattivo. Così la corrente sarà meglio condotta se entrerà per una superficie metallica larga, e penetrerà per una stretta nel liquido. Se il polo positivo pesca in un liquido poco buon conduttore, e il negativo in uno buono, la corrente è meglio trasmessa di quello che quando la disposizione è inversa.

LEZIONE LIV.

Fenomeni di tensione. — Fenomeni elettro-dinamici. — Effetti calorifici : raffreddamento che la corrente produce in qualche caso. — Fatti di Herschell.

Nell' esporre la teoria della forza elettromotrice di Volta vi ho mostrato i fenomeni di tensione che sono prodotti dalla coppia e dalla pila voltiana. Allora imparaste altresì come si caricava il condensatore in comunicazione colla coppia voltiana, e quindi come poteva caricarsi con una pila una boccia di Leida. Un fenomeno di tensione della pila, di cui più volte abbiamo parlato, è la scintilla che si ha nell' unire con un arco metallico i due poli della pila o i due metalli della pila elementare. Eccovi una pila alla Wollaston di 18 elementi : allorchè lo tocco insieme i due fili che sono a contatto delle due lamine estreme, una scintilla scocca fra i due punti del conduttore che metto a contatto; nell' istante in cui li separo, in cui la corrente cessa, un'altra scintilla scocca fra i due punti che si toccavano. Se adoperassi un solo elemento, non avrei più la scintilla chiudendo il circuito : l' avrei bensì, e molto piccola, nell' aprire il circuito. La circostanza principale da cui dipende la tensione in una pila è il numero dei suoi elementi. Una pila di 1200 coppie produce dei fenomeni di tensione come una macchina elettrica. Si ha da questa pila, avvicinando a 1/100 di pollice di distanza i due reofori, una serie di scintille, le quali son tanto più lunghe, quanto più è grande il numero degli elementi. Questi risultati si ottennero anche recentemente dal sig. Crosse. Fin dai primi tempi in cui fu scoperta la pila, Biot aveva provato che i liquidi più conduttori non erano quelli che producevano la maggior tensione. Allorchè infatti si confrontano pile di uno stesso numero di coppie, ma in cui è diverso il liquido, si trova che per ottenere il maggior effetto di tensione nel condensatore, conviene mantenerlo in comunicazione col polo della pila per un tempo tanto più lungo, quanto più è cattivo conduttore il liquido della pila. Così operando, non si trova differenza apprezzabile nel grado di tensione che si ha dalla pila carica con acqua pura, e con una soluzione di solfato di soda, o con una soluzione di acido nitrico.

Se poi la pila è isolata e il condensatore è a contatto dell' altro polo non isolato, allora la natura diversa del liquido della pila fa variare la sua tensione. Coll'acido nitrico mancano affatto i segni di tensione , e si ottengono nel massimo grado coll' acqua pura.

Dobbiamo ora passare ai fenomeni elettro-dinamici. Seguirò, nell' esporveli, lo stesso ordine che ho tenuto parlandovi della scarica elettrica: vi parlerò dei fenomeni così detti fisici della corrente elettrica, poi dei chimici, e infine dei fenomeni fisiologici.

Ricordatevi che fino dal primo giorno vi mostrai come una corrente era capace di riscaldare il filo metallico in cui scorreva. Se il filo è molto sottile, basta una pila assai debole per renderlo candente. Wollaston adoperava per scaricare una pila di un solo elemento, in cui il rame era un anello da cucire, un filo estremamente sottile di platino, e poteva arroventarlo. Allorchè i fili sono molto grossi, è necessario a tal fine un numero maggiore di elementi.

Pei fenomeni calorifici della pila non abbiamo, per mala ventura, un lavoro così importante ed esteso come quello di Riess, di cui v' ho dato un cenno parlandovi della scarica elettrica. Certo è però, che quei principi si possono applicare anche al presente caso. Comincerò intanto dal descrivere i fenomeni. Le più grandiose sperienze sopra questo soggetto le abbiamo da Children. Egli impiegava nelle sue ricerche una pila alla Wollaston di 21 coppie, nelle quali lo zinco aveva 32 piedi quadrati di superficie. Le sperienze erano fatte unendo due fili metallici ai due poli, poi accostando le estremità libere di questi fili a piccola distanza. Si stabilisce così una corrente continua di tante scintille, ed osservansi fenomeni vari secondo la diversa natura dei metalli che s'adoperano: i colori i più brillanti e i più variati accompagnano la scintilla, e dipendono dalla varia natura del metallo che conduce la corrente.

Già v'ho detto come Wheatstone era riuscito ad analizzare col prisma la luce delle scintilla elettrica ottenuta scaricando le pila con diversi fili metallici. Ora quelle sperienze provano ad evidenza che la scintilla trasporta, allo stato caudente e di combustione, i corpi su cui scorre.

Children otteneva colla pila descritta effetti assai grandiosi; e citerò fra i molti la fusione di una verga quadrata di platino di 2 a 3 pollici di larghezza, e grossa 2 li-

nee. Ma la scarica di una forte pila riesce assai bella col carbone. Davy adoperò nelle sue esperienze una pila di 2000 elementi di 4 pollici di lato. Due piccole punte di carbone, preparate calcinandole in un crogiuolo coperto e tuffandole rosse nel mercurio, erano le estremità ch'ei portava a contatto per scaricare la pila. Davy cominciava dal portare le due punte a contatto, poi le allontanava, ed aveva così un getto laminoso che non cessava anche quando le due punte erano a quattro pollici l'una dall'altra. Nell'aria rarefatta, con un apparecchio analogo a quello della *Fig.* 100, l'arco luminoso si fa molto più lungo e più intenso; e nel vuoto l'esperienza continua per molte ore senza che il carbone diminuisca sensibilmente di peso. La luce prodotta ha tutta l'intensità della luce solare, ed opera quelle azioni chimiche, che vedremo prodursi dai raggi del sole. Daniell, che ha ripetute le esperienze di Davy con una pila di 70 elementi a forza costante, ha confermato un fatto d'importanza, quello cioè del trasporto dal carbone dal polo positivo al negativo. Non sarebbe difficile che la maggior diminuzione del carbone a quel polo fosse anche dovuta alla maggior combustione che deve avervi luogo, per delle ragioni che diremo in seguito. Bunsen ha di recente ottenuto, con una sua pila di 48 elementi, un getto di luce fra le due punte di carbone, che si è continuato sino alla distanza di sette millimetri. Misurando l'intensità di questa luce, si è trovato che equivaleva a quella prodotta da 572 candele steariche, e che la spesa per produrla era, per un'ora, di circa una libbra di zinco e di altrettanto di acido solforico e di nitrico. Vi ricorderò ancora un'esperienza di Davy, che in seguito intenderemo bene: accostando una forte calamita all'arco luminoso che riunisce le due punte di carbone, si vede quest'arco attratto o respinto nei diversi punti.

La pila che adopero per mostrarvi questi fenomeni è di 12 elementi di Bunsen: gli effetti che otteniamo colle punte del carbone sono abbastanza forti perchè possiate farvene un'idea giusta. E a me importa molto che abbiate ben presenti gli effetti luminosi della corrente: perciocchè dobbiamo vedere le belle applicazione che ne ha fatto Berzelius ad uno dei più importanti fenomeni della chimica affinità.

V'ho fatto notare che una delle condizioni perchè l'esperienza col carbone riescisse molto brillante, era quella di aver cura d'immergere il carbone ancora caldo nel mercurio. In questa maniera il carbone s'empie di mercurio estremamente diviso, e non si può già dubitare che l'azione della scintilla sul vapore del mercurio non influisca ad accrescerne gli effetti.

Children ha fatto alcune curiose esperienze, che ci mettono nella via di ravvicinare il fenomeno del riscaldamento prodotto della corrente a quello che produce la scarica. E sembra infatti che lo sviluppo del calore dipenda dalla resistenza che incontra la corrente a trasmettersi da una molecola all'altra del corpo.

Children ha provato che, riunendo gli estremi d'una pila con una catena fatta di diversi fili metallici, tutti delle stesse dimensioni e saldati insieme, era sempre alle unioni che aveva luogo il maggiore riscaldamento, e che i più riscaldati erano quelli che più malamente conducevano la corrente. Altrettanto si osserve adoperando due fili metallici diversi per scaricare la pila, nel qual caso il più riscaldato dei due è sempre quello che conduce peggio l'elettricità: così se i due fili sono d'oro e di platino, si fa rosso quest'ultimo; se sono d'oro e d'argento, l'oro è quello che diventa candente.

I liquidi pure sono fortemente riscaldati dal passaggio della corrente: un fusto di una pianta grassa traversato dalla corrente di una pila, anche non molto forte, si riscalda tanto, da entrare in ebullizione l'acqua che vi è contenuta.

In generale per questi effetti non si suol mai adoperare una pila di un piccolo numero di elementi: basta ricordare i principi già stabiliti, per intendere che quando si fa scaricare la pila per un arco poco conduttore, conviene adoperare una pila di un gran numero di elementi.

Tuttavia senza valersi di grandi pile si possono rendere sensibili i fenomeni del riscaldamento adoperando mezzi termo-scopici molto delicati. Peltier si è servito pel primo di una coppia o pila termo-elettrica. Si prende perciò una di queste coppie, bismuto e antimonio, e si unisce el galvanometro. Si posa sulla loro saldatura il filo metallico che è percorso dalla corrente; e all'istante l'ago devia. E si prova ben di leggieri non essere la corrente della pila che si trasmette e s'insinua nella copple termoelettrica, frapponendo fra il filo conduttore e la coppia, un foglio di carta, una seta, una lamina qualunque, che senza distruggere la propagazione del calore, impedisca il passaggio della corrente che si sospetta. D'altronde, quanto questo dubbio sie falso, è anche provato dall'essere costante la direzione della corrente termo-elettrica, qualunque sia la direzione della corrente nel filo che si riscalda.

Peltier he studiato come avvenisse la distribuzione del riscaldamento prodotto

dalla corrente, applicando la coppia in diversi punti del filo percorso. Questo ingegnoso Fisico ha così riconosciuto, che nel maggior numero dei casi il massimo riscaldamento aveva luogo con un arco di due metalli nel punto della loro saldatura. Studiando diversi metalli, componendo archi di metalli diversi, Peltier ha scoperto un fatto della maggiore importanza. Supponete di fare un arco saldando una verga di bismuto ad una di antimonio, ed applicate la loro saldatura sopra una coppia termo-elettrica. Quando si fa passare per l'arco di bismuto e di antimonio la corrente di una pila non tanto forte, si trova che vi è riscaldamento allorchè la corrente è diretta dall'antimonio al bismuto; se però la corrente è diretta dal bismuto all'antimonio, la saldatura si *trova invece raffreddata*. Posso verificare questo bel fatto senza servirmi della coppia termo-elettrica. Eccovi [*Fig.* 146] la bolla A d'un termoscopio ad aria: è una palla di vetro soffiata all'estremità di un tubo C. Una colonna di liquido colorato è introdotta nel tubo sino al punto E. Se l'aria della palla si riscalda, si dilata e spinge la colonna liquida lontano dalla palla; se invece si raffredda, l'aria diminuisce di volume e l'indice s'accosta alla palla. Nella stessa palla v'è introdotto e chiuso con mastice un arco metallico che la traversa. È fatto quest'arco P L di bismuto e di antimonio, ed è disposto in modo che la saldatura S dei due metalli sia nel mezzo della bolla. Allorchè fo passare una corrente, veggo l'indice alzarsi e denotare così raffreddamento nella saldatura, se è diretta dal bismuto all'antimonio; invece l'indice m'indica riscaldamento nella saldatura, se la corrente è diretta dall'antimonio al bismuto.

Ma adoperando una corrente molto intensa, si ottiene riscaldamento nella saldatura anche nel caso in cui è diretta dal bismuto all'antimonio; e il riscaldamento si ottiene eziandio con la prima corrente continuando a farla passare. V'è però una differenza nei due casi, ed è che il riscaldamento che la corrente produca allorchè è diretta dal bismuto all'antimonio, non perviene mai al grado a cui giunge diretta nel senso contrario. Se la corrente cessa di passare, essendo diretta dal bismuto all'antimonio, il riscaldamento che se ne ottiene giunge allo stesso grado a cui arriva allorchè va dall'antimonio al bismuto. Questo fatto curioso, scoperto dal Prof. Pacinotti, e che la sua amicizia mi consente di pubblicare, prova, insieme con altri, in un *modo manifesto il potere refrigerante proprio della corrente allorchè è diretta in quel dato senso nei due metalli.*

Peltier aveva creduto di potere stabilire che eravi raffreddamento in tutti quei casi in cui la corrente passava attraverso alla saldatura, o unione di due metalli, andando dal cattivo conduttore al buono. Ma Pacinotti tentando diversi archi metallici ha trovato molti casi, nei quali il raffreddamento si produce senza che vi sia il passaggio nelle condizioni supposte da Peltier. Il Pacinotti ravvicinando questi fenomeni a quelli della corrente termo-elettrica che si ha riscaldando la saldatura dei due metalli, trova questo risultato generale: *che*, cioè, *la corrente voltaica produce freddo quando è mandata in una coppia metallica in quella direzione in cui suole eccitarsi la corrente termo-elettrica*, *riscaldando la congiunzione dei due metalli.* Conviene confessare che è affatto ignoto il legame fra queste due classi di fenomeni.

Vi esporrò ancora alcuni fenomeni meccanici che produce la corrente. Eccovi un recipiente di vetro separato in due cavità con una membrana fissata con mastice alle pareti: verso dell'acqua pura nelle due cavità, e in maggior quantità in una che nell'altra. Poi fo pescare nei due liquidi i due poli o reofori di una pila: metto il positivo dove è la maggior quantità di liquido, e il negativo nell'altro. Dopo un qualche tempo vediamo che il livello del liquido nelle due cavità ha cambiato, e che nella cavità in cui pesca il polo negativo, il liquido s'è raccolto in quantità molto più grande di quella che è rimasta nella cavità in cui pesca il polo positivo. Perchè questo fenomeno avvenga, conviene scegliere il liquido poco conduttore. Vi dirò ancora di un fatto di Becquerel il quale porta allo stesso risultato di quello che ho descritto or ora, e scoperto da Porret. Si preparano due tubi di vetro A e B [*Fig.* 145] aperti all'estremità. Si applica ad una di queste estremità un tappo di argilla, chiudendo con tela gli orifizi. S'immergono i due tubi pieni d'acqua in una massa V V' dello stesso liquido, e si fa passare una corrente introducendo i due poli nei liquidi dei tubi. Si vede poco dopo spargersi nella massa liquida l'argilla che comunica col polo positivo. Da questo fatto e dall'altro di Porret si conclude, che la corrente elettrica trasporta nella sua direzione alcuni dei corpi che incontra nella strada per cui passa, e ciò avviene tanto meglio, quanto più la corrente è costretta a muoversi in un mezzo poco conduttore.

L'argomento di questa lezione non vuole che vi taccia i curiosi fenomeni scoperti da Herschell. Lo sperimento da cui l'illustre Astronomo li ha ottenuti è il seguente. Si versa una goccia di mercurio, e si copre la

goccia con acido solforico a modo, che di pochi millimetri la sopravanzi: se allora s'immergono nell'acido, e in due punti opposti, i due poli di una pila anche non molto forte, si vede il mercurio agitato e allungato verso il polo negativo: nello stesso tempo una serie di correnti fortissime agitano la superficie dell'acido, e lo spingono direttamente dal polo negativo al positivo ripiegandosi ai fianchi in direzione contraria. Si rendono assai ben manifeste queste correnti aspergendo l'acido di corpi leggieri; di polvere di legno, di tabacco ec. Variando l'esperienza, adoperando quantità diverse di mercurio e di acido, si giunge a stabilire che le correnti eccitate direttamente dalla corrente sono sulla superficie del mercurio, e che consistono in un irraggiamento continuo delle sue particelle superficiali dal punto il più vicino al polo negativo: ognuna di queste particelle è spinta scorrendo sulla superficie dal polo negativo al positivo, e ritorna lungo l'asse della massa di mercurio. E da questo ritorno nascono gli allungamenti del mercurio verso il polo negativo se la massa è grande, o i movimenti se la massa è piccola. L'aderenza, l'attrito delle molecole del mercurio a contatto della vaschetta fanno sì, che il centro di gravità della sua massa debba avanzarsi verso il polo negativo.

Questi fenomeni variano nei diversi liquidi con cui si bagna il mercurio. Così nella soluzione dei nitrati si formano due correnti che irraggiano dai due poli, per cui si fa sul mercurio una zona d'equilibrio più o meno vicina ad uno dei due poli, secondo che la corrente contraria è più o meno violenta.

Allorchè si tocca con uno dei poli la goccia del mercurio, il mercurio sta fermo, ma v'è un movimento fortissimo che irraggia dall'altro polo. Se il polo negativo è quello che ha toccato il mercurio, vi si amalgama; se è il positivo, si fa una crosta di ossido sul mercurio e cessano le correnti. È questa una osservazione importante: le correnti non si formano se non a condizione che la superficie del mercurio abbia tutta la mobilità propria di questo metallo.

Nè men curioso è a vedere ciò che avviene con certi liquidi tenendo il polo negativo a contatto del mercurio, e poi facendo passar la corrente al solito nel solo liquido. Eccovi il mercurio coperto da una soluzione di solfato di soda: fo che per un istante il polo negativo tocchi il mercurio, poi lo distacco. Se fo passare allora la corrente nel liquido, il globo di mercurio acquista la forma disegnata nella *Fig.* 147; non vi è più una sola corrente o un solo centro di correnti, ma due che irraggiano dai due poli p ed n che sono in senso contrario, e s'incontrano sulla goccia in una zona d'equilibrio. Si è visto in seguito che queste due correnti si producevano allorchè il mercurio era amalgamato con altri metalli; zinco, potassio, sodio, stagno ec. Il contatto del polo negativo col mercurio non fa altro, come ben lo vedremo, che preparare quest'amalgama: nell'esperienza citata è il sodio del solfato di soda che si amalgama.

LEZIONE LV.

Seguito dei fenomeni elettro-dinamici. — Azione delle correnti sulle correnti. — Leggi scoperte da Ampère. — Rotazione continua delle correnti prodotte dalle correnti. — Solenoidi. — Cilindri elettro-dinamici.

I fenomeni di cui comincio a parlarvi oggi formano la parte la più compiuta, la più ordinata di tutta la scienza dell'Elettricità. La natura di questo Corso mi obbliga a farvi l'esposizione dei fenomeni elettro-dinamici nel modo più logico che mi è possibile, non avendo perciò alcun rispetto all'ordine storico con cui furono scoperti. Non vi nascondo però che oggi assai mi duole di dover così fare, e quindi passarmi di uno de' più bei tempi della Fisica, quale si è quello delle scoperte di Oersted, d'Ampère, di Arago, di Faraday ec. Avremmo in esso visto con quanta rapidità il Genio seppe scoprire e fondare sopra basi invariabili il legame fra due classi di fenomeni attribuiti sino a quell'epoca a due forze, a due agenti naturali creduti distinti: vo' dire fra la Elettricità e il Magnetismo. E non giungeremo già al termine di questo Trattato senza che in tutti sia la convinzione, che non v'è parte della Fisica in cui l'analogia, l'identità di due classi di fenomeni sia, meglio che in questa, stabilita. Ond'io adotterò francamente senza alcuna restrizione la teoria d'Ampère, che considera i fenomeni magnetici come dovuti all'elettricità dinamica.

Comincerò dal parlarvi dell'azione reciproca delle correnti elettriche.

L'apparecchio col quale si studia quest'azione può esser molto semplice. Si riduce egli ad un conduttore metallico mobile intorno ad una linea verticale che passa per

i suoi punti d'appoggio, e ad un conduttore fisso. Perciò si fanno terminare in punta le due estremità *y* ed *e* del conduttore *a b c d* (*Fig.* 163), e si dispone il conduttore in modo che le due punte possano posarsi in due piccole cavità piene di mercurio, e così sia in equilibrio. Queste cavità sono alle estremità di due altri conduttori metallici piegati ad angolo *f g h*, *e o k*, fissati sopra una tavola. I poli della pila si mettono in comunicazione col piede di questi due conduttori in *h* e in *k*, e la corrente circola nel modo disegnato dalle frecce, cioè la sua direzione è *h b g f a b c d e o k*. Il conduttore fisso può essere di che natura si vuole; e s'intende di leggieri come i due conduttori, il mobile e il fisso, possono avvicinarsi uno all'altro, esser percorsi dalla corrente di una pila, e disporsi in modo da poter cambiare la disposizione rispettiva della corrente in ognuno di loro. La pila che si adopera in queste ricerche è di quelle alla Wollaston, e ordinariamente non è di un gran numero di coppie; ma però sono esse d'una superficie molto estesa.

Si comincia l'esperienza disponendo il conduttore fisso, prima che la corrente passi, in faccia del lato *a b* o del lato *c d* del conduttore mobile, in maniera che quest'ultimo rotando intorno alla linea che passa pei punti di sospensione possa venire a toccarlo. Allorchè si fa passare la corrente nei due conduttori, si vede all'istante un'azione più o meno forte prodursi fra loro. La direzione in cui questa azione s'esercita è determinata nel modo il più generale da una legge semplicissima, scoperta da Ampere: *due correnti parallele si attirano, allorquando vanno nello stesso senso, si respingono se vanno in senso contrario*. Così v'è attrazione fra le due correnti della *Fig.* 151, ripulsione fra quelle della *Fig.* 152. L'intensità colla quale queste attrazioni e ripulsioni si producono sono evidentemente proporzionali alla lunghezza dei conduttori percorsi dalla corrente e messi in faccia l'uno dell'altro, alla intensità delle correnti, e alle distanze alle quali si collocano i due conduttori al cominciare dell'esperienza.

Può provarsi facilmente che l'attrazione e la ripulsione di cui parliamo sono eguali per una stessa corrente, e per due eguali conduttori fatti agire ad eguale distanza. Si adopera perciò il conduttore (*Fig.* 164), che è fatto di uno stesso filo ripiegato sopra se stesso: sia che con questo si costruisca il conduttore mobile o il fisso, si trova che presentato all'altro non v'è alcuna azione, qualunque sia l'intensità della corrente che lo percorre.

Invece di far agire le due correnti tenendo i due conduttori parallelamente l'uno all'altro, possono presentarsi in modo che si taglino, s'incrocino in un punto. Possono le due correnti così disposte trovarsi nello stesso piano e quindi incontrarsi colle loro direzioni, o possono trovarsi in piani diversi a modo da non incontrarsi mai le loro direzioni: nel primo caso il punto d'incontro è il punto in cui si tagliano, il punto d'*intersezione*; nel secondo convien prendere per questo punto o vertice dell'angolo la perpendicolare comune. Lo stesso conduttore mobile (*Fig.* 163) può servire a determinare quest'azione: si fa perciò agire una corrente fissa sopra il lato orizzontale *b c*. Onde render l'azione più forte si adopera per corrente fissa un filo isolato con seta, e ripiegato più volte sopra se stesso; il quale apparecchio dicesi perciò *moltiplicatore* (*Fig.* 167). Si presentano i due conduttori a modo, che facciano un certo angolo. Si può anche far variare la direzione relativa dalle due correnti. L'azione che ha luogo è espressa da questa legge: *Due correnti che si tagliano, che fanno un certo angolo fra loro, tendono sempre a divenire parallele a modo, da ridursi ad essere dirette nello stesso senso.* La qual legge può esprimersi altresì ne' seguenti termini: *Le correnti angolari* a b s e d (*Fig.* 153) *si attirano fra loro quando ambedue si allontanano o si accostano all'angolo* r; *si respingono quando l'una si accosta e l'altra si allontana dall'angolo.*

V'è attrazione fra le correnti *a r e c r*, *r b e b d*, e ripulsione fra *c r* ed *r b*, *a r* e *r d*. L'apparecchio delle *Fig.* 154 e 155 serve anche a dimostrare questa proposizione; si scavano in un disco di legno due canali semicircolari separati da diafragmi isolanti *a* e *b*; al centro si fissa un pernio o sul quale riposa un ago di rame *c d* mobilissimo, e di cui le estremità incurvate pescano nel mercurio dei due canali: al disotto di quest'ago ve n'è un altro *a f* che si fa movere colla mano, e che pesca anch'esso nei due canali. La corrente che entra in *x*, passa per i due aghi ed esce per l'altra cavità *y*. Si ha la ripulsione mettendo gli aghi nelle posizioni *e f s c d*, e l'attrazione mettendoli in un'altra posizione qualunque in cui l'angolo *c o f* sia minore d'un angolo retto.

Può dedursi da questa legge dell'azione delle correnti angolari, che in un conduttore piegato ad angolo (*Fig.* 156) le due parti *a b* e *b c*, una delle quali si accosta e l'altra si allontana dall'angolo, si respingono fra loro, e perciò tende il conduttore a divenir rettilineo. Questo stesso principio condusse Ampere ad ammettere, che le

parti contigue di una stessa corrente rettilinea si respingono. Si giunge ad una tale conclusione colla teoria matematica di questi fenomeni. Lo sperimento con cui Ampere confermò questa conseguenza della sua teoria si fa piegando un conduttore (*Fig.* 180) a modo, che stia a cavallo fra due compartimenti pieni di mercurio e separati da una divisione di sostanza isolante. Tutto il filo è coperto di una vernice coibente, meno che alle due estremità un po' incurvate che sono immerse nel mercurio. Si fanno pescare i due poli della pila nel mercurio in maniera, che si trovino sul prolungamento delle due branche del filo. Si vede, nell'istante in cui la corrente comincia a passare, il filo allontanarsi dai poli, come se fosse respinto. Convien però confessare che questo esperimento non prova ad evidenza la ripulsione fra le parti contigue d'una corrente; ed è ben difficile di poter dire, in questo caso, come cammina la corrente, qual parte ha nei fenomeno la corrente che passa nel mercurio. Oltre di ciò inclinerei a credere, che anche la scarica di una batteria fatta passare in questo apparecchio, disponendo l'esperienza come si è fatto per la corrente della pila, producesse gli stessi effetti.

Le leggi che abbiamo esposte, riassumono tutto ciò che si riferisce all'azione reciproca di due correnti rettilinee: conviene che ora studiamo quest'azione supponendo nelle correnti una forma qualunque, dando ai due conduttori una curvatura qualunque. Una esperienza, dovuta anch'essa al genio d'Ampere, ci mette in grado di semplificare assai queste ricerche. Insieme al conduttore rettilineo fisso adoperato nelle prime esperienze si presenti el conduttore mobile un conduttore sinuoso, in modo che questo conduttore si trovi in mezzo al rettilineo ed al sinuoso. Queste sinuosità devono essere assai piccole in confronto della distanza alla quale si mettono i due conduttori dal mobile. Si disponga l'esperienza di guisa, che nel conduttore rettilineo e nel sinuoso la corrente vada nella stessa direzione. Si vede allora, facendo passare la corrente e nei due fissi e nel conduttore mobile, che quest'ultimo riman fermo in mezzo a loro, e sta fisso in equilibrio ad eguale distanza da loro. Lo stesso accadrebbe se nei due conduttori, il rettilineo e il sinuoso, la direzione della corrente fosse inversa. Dobbiamo perciò concludere, *che l'azione attrattiva o ripulsiva di un conduttore sinuoso, fatto come si è detto, è la stessa di quella di un conduttore rettilineo.* Si prova eziandio questo principio facendo andare la corrente in un senso nel conduttore rettilineo, e nell'opposto nel sinuoso: la corrente del conduttore mobile presentata al conduttore fisso, delineato nella *Figura* 165, rimane indifferente, essendo soggetto a due azioni eguali e contrarie, e che quindi si distruggono. Questo fatto è della maggiore importanza, perciocchè serve di fondamento alla teoria elettro-dinamica. Rimane così stabilito, che ad una piccola porzione $m\ n$ di corrente di forma qualunque, può sempre sostituirsi un poligono rettilineo $m\ x\ y\ z\ n$ (*Fig.* 159) che passi per le sue estremità. Si fa questa sostituzione all'elemento di una corrente, colle sue tre proiezioni sopra tre direzioni lineari perpendicolari fra loro. In questo modo ci vien concesso di sostituire ad un elemento di una corrente tre altri elementi, che sono le proiezioni dell'elemento stesso della corrente sopra tre assi rettangolari. Si parte da un tal principio per convertire queste azioni in un problema di Meccanica; e si deduce da esso l'azione elementare di due porzioni infinitamente piccole di correnti poste nello spazio in un modo qualunque. Quest'azione elementare una volta ben conosciuta, se ne ha coi convenienti processi di calcolo, la spiegazione matematica di tutti i fenomeni risultanti dalle azioni reciproche delle correnti elettriche che percorrono conduttori di forme determinate, di dimensioni finite.

Non posso entrare nell'esposizione di questa dottrine matematica: l'opera di Ampere, che la contiene, è di certo una delle più grandi produzioni dello spirito umano che siasi avuta a' tempi nostri. Continueremo adunque a mostrare i fatti colla scorta del mirabile legame che li riunisce, e che è il più grande fondamento della teoria che abbiamo adottato. Alcune considerazioni semplicissime appoggiate sulle leggi generali dell'azione reciproca delle correnti, ci mettono in grado di determinare i diversi movimenti che una corrente fissa, rettilinea o circolare, può imprimere ad una corrente mobile. Basta per ciò di conoscere le relazioni di posizione dei conduttori in cui si muovono queste correnti. Non abbiamo che a rammentarci qual'è l'azione di due correnti angolari.

Supponiamo una corrente indefinita $a\ b$ (*Fig.* 173), e una corrente finita $c\ d$ mobile parallelamente a se stessa. Se si suppone prolungata questa corrente sino a che tagli la corrente indefinita nel punto r, è evidente che vi sarà attrazione nell'angolo $b\ r\ d$, cioè fra le parti $r\ b$ e $c\ d$ delle due correnti che insieme s'allontanano dall'angolo: per lo stesso principio vi sarà ripulsione nell'angolo $a\ r\ d$ perchè in quello agiscono due

porzioni delle correnti, una delle quali si accosta e l'altra s'allontana dall'angolo. Queste due forze producono una risultante parallela ad a b, che tende a muovere incessantemente in tutti i punti la corrente dal punto a al punto b. Se la corrente mobile avesse avuta la direzione opposta, cioè fosse stata diretta verso la corrente indefinita, il movimento sarebbe stato l'opposto. Possono queste azioni annunziarsi con termini generali: Una corrente finita che si avvicina ad una corrente indefinita, tende a muoversi in senso contrario della corrente indefinita a cui s'accosta; se la corrente finita se n'allontana, tende a muoversi nel senso stesso della corrente indefinita. Reciprocamente accade se il conduttore mobile è indefinito, e sottoposto all'azione d'una corrente finita fissa: nel primo caso la corrente indefinita tende a moversi nel senso della corrente, e nel secondo in senso opposto.

Prendiamo una corrente circolare per la corrente indefinita, e la corrente finita sia mobile nel centro della corrente circolare. Sia M N P Q (*Fig.* 157) la corrente circolare fissa il cui raggio è maggiore della lunghezza della corrente mobile finita. L'azione deve considerarsi fra le parti vicine della corrente circolare e del conduttore mobile. Le parti opposte a queste della corrente circolare, esercitano necessariamente un'azione minore. È chiaro che la corrente mobile prenderà un continuo movimento di rotazione, che sarà diretto sempre in senso contrario della corrente circolare, quando la direzione della corrente mobile è dal centro alla circonferenza, e sarà nello stesso senso della corrente circolare, quando la corrente mobile va dalla circonferenza al centro. Questi movimenti sono una necessaria conseguenza dell'azione fra le correnti angolari.

Nel caso in cui il centro della corrente circolare non coincida col punto intorno al quale può ruotare il conduttore mobile, il movimento di rotazione sussiste, ma cessa di essere uniforme. Può anche concepirsi una posizione d'equilibrio pel conduttore mobile; e questa è nel caso in cui il circolo, che egli descrive, taglia la corrente circolare.

Se il conduttore finito fosse mobile intorno al suo mezzo, e situato nel centro della corrente circolare, ognuna delle sue metà tendendo a moversi in senso contrario e colla stessa forza, la corrente sarebbe in equilibrio in tutti i punti, e il conduttore non concepirebbe movimento.

Onde verificare queste conseguenze delle leggi generali a cui obbediscono le azioni delle correnti elettriche, si adopera (*Fig.* 158) un vaso circolare ACDB di rame, e un conduttore a b c mobile (*Fig.* 161) che si sospende entro una piccola capsula s piena di mercurio, e posta nel centro del vaso. Questa capsula è sostenuta da un conduttore y x che traversa il vaso, essendone separato da un corpo isolante. Si versa nel vaso circolare tanta acqua acidula che vi possa pescare l'anello metallico leggiero a b c che fa parte del conduttore mobile. Infine si circonda il vaso di una spirale (*Fig.* 160) fatta con una striscia di rame coperta di seta, più volte girata sopra sè stessa. Questa spirale è percorsa dalla corrente, e moltiplica l'effetto di una sola corrente circolare per il numero de' giri fatti intorno a se stessa. La corrente è stabilita nel modo disegnato nella *Fig.* 158. L'azione è fra la corrente circolare e le porzioni orizzontali e verticali del conduttore mobile; da questo la corrente irraggia nel liquido, e per mezzo del vaso metallico va al polo negativo. Basta d'invertire la direzione della corrente nella spirale perchè s'inverta il movimento di rotazione del conduttore mobile. In ogni caso il movimento del conduttore mobile è sempre soggetto alle condizioni che abbiamo già stabilite.

Per verificare la rotazione delle correnti circolari prodotta dalle correnti rettilinee, nella capsula dell'apparecchio già descritto si sospende il conduttore (*Fig.* 162) fatto di un filo di rame piegato a spirale piana, e di cui le spire sono mantenute in uno stesso piano da tre piccole strisce d'osso di balena: la estremità interna dell'ultima spira si ripiega verticalmente, e serve a sospendere la spirale che si fa tuffare nell'acqua acidula. La corrente segue i contorni o giri della spirale, ne esce da tutti i punti, e a guisa di raggi traversa l'acqua acidula onde giungere sulle pareti del vaso. Cotali correnti irraggianti son quelle che agiscono sulla corrente che percorre la spirale, e perciò la spirale si muove nel senso della sua corrente; lo stesso accade se si fa andare la corrente in una direzione opposta, cioè a modo che dalle pareti del vaso traversi l'acido e entri nella spirale. La corrente ha egualmente cambiato nel liquido e nella spirale, e il suo movimento è come prima. Perchè questo movimento s'inverta, convien prendere l'altra spirale (*Fig.* 166) che è ripiegata in senso contrario della prima.

Le leggi che abbiamo esposto ci fanno prevedere qual'è l'azione che si eserciterà da un sistema di correnti circolari riunite, sopra una corrente rettilinea qualunque o sopra un sistema simile di correnti circolari. Mi estenderò alquanto sopra gli effetti di questa disposizione, per un applicazione

assai importante che ne faremo più innanzi.

Ampere ha chiamato *selenoide* un sistema di piccole correnti circolari eguali, percorse tutte nello stesso senso dalle correnti, e di cui i centri si trovano sopra una curva o linea qualunque. Ed egli e Savary, fondandosi sulle formule generali che danno l'azione di due correnti elementari, hanno determinato col calcolo quale era l'azione di un selenoide percorso da una corrente. L'azione del selenoide sopra una corrente rettilinea indefinita, perpendicolare al suo asse, si riduce a due forze applicate alla corrente e dirette in uno stesso piano perpendicolarmente alle linee che misurano le distanze della corrente indefinite alle due estremità del selenoide, e in ragione inversa di queste distanze. L'azione scambievole di due selenoidi può esser sempre rappresentata da quattro forze, due attrattive e due ripulsive, dirette secondo le linee che congiungono le due estremità di un cilindro alle due estremità dell'altro, e le cui intensità sono in ragione inversa del quadrato delle distanze di queste estremità.

Per mostrarvi coll'esperienza l'azione di un selenoide sopra una corrente, e di due selenoidi l'uno sopra l'altro, si prende un filo di rame coperto di seta e si dispone in *elica* sopra un cilindro qualunque; dopo fatto un certo numero di giri, si fa ritornare il filo addietro per l'asse stesso dell'elica.

Dal fin qui detto s'intende facilmente, che ogni spira può considerarsi come la risultante di una corrente circolare normale all'asse, e di una piccola corrente rettilinea di cui la lunghezza è eguale al passo dell'elica. Facendo retrocedere (*Fig.* 169) il filo nell'asse dell'elica, a modo che la corrente vi cammini in une direzione contraria di quella che hanno le piccole correnti rettilinee supposte, se ne distrugge l'effetto; e l'azione di un conduttore così preparato si riduce a quella di tante correnti circolari, che sono le proiezioni di ogni spira sul piano perpendicolare all'asse dell'elica. Questi conduttori a elica o a spirale cilindrica, si chiamano cilindri *elettro-dinamici*. Si può determinare con l'esperienza l'azione di questi cilindri percorsi dalle correnti, facendoli in modo da poterli sospendere e render mobili (*Fig.* 168.)

Allorchè si avvicina a questo cilindro mobile una corrente indefinita in una posizione qualunque, il cilindro tende sempre a disporsi col suo asse perpendicolarmente alle corrente, e si trova sempre, allorchè ha presa una posizione stabile, che la direzione della corrente è la stessa nelle parti più vicine del cilindro e della corrente indefinita. È questa ancora una conseguenza delle leggi generali. Nello stesso modo s'intende facilmente l'azione reciproca di due cilindri elettro-dinamici percorsi dalla corrente. Un cilindro elettro-dinamico simile al cilindro mobile e percorso dalla corrente, avvicinato colle sue estremità ad una estremità del cilindro mobile, con una lo attira, coll'altra lo respinge. Accostando le due estremità del cilindro fisso ad una dei cilindro mobile, si ha attrazione con una, ripulsione coll'altra: l'estremità del cilindro fisso avvicinato al mobile che attira, è quella che respingeva l'altra estremità del cilindro mobile e viceversa. Basta di tener dietro alla direzione della corrente nelle parti dei due cilindri elettro-dinamici che si avvicinano, per assicurarsi che vi è attrazione tutte le volte che nelle parti avvicinate le correnti sono dirette nello stesso senso, e ripulsione nel caso contrario.

De ciò viene, che fra le due estremità *c* e *d* (*Fig.* 171) di uno stesso cilindro deve esservi attrazione, come vi deve essere attrazione fra le due nuove estremità *a* e *b* in cui il cilindro può supporsi rotto, seguitando la corrente ad esser diretta come prima.

LEZIONE LVI e LVII.

Azione della corrente sopra una calamita. — Cosa è calamita. — Poli d'una calamita. — Sua direzione rispetto alla terra. — Corpi calamitabili. — Come si comunichi la calamitizzazione o il magnetismo — Azione reciproca dei poli delle calamite. — Magnetismo della terra.

Vi ho mostrato più volte, che un filo metallico percorso dalla corrente elettrica agisce sopra una calamita. Più volte ci siamo serviti, per scorgere la presenza della corrente elettrica, di un istrumento, che abbiamo chiamato galvanometro, e che non è altro che una calamita molto mobile presso di cui si trova un conduttore percorso dalla corrente. La calamità mostra l'ezione della corrente abbandonando la sua posizione, *deviando* più o meno, secondo che è più o meno grande l'intensità della corrente. È adunque tempo ch'io vi dica cos'è una calamita, quali sono le sue pro-

prietà, come può intendersi l'azione della corrente sopra di lei.

Si trova in natura un minerale, che l'analisi chimica mostra comporsi principalmente di una combinazione di ferro e d'ossigene, che ha la proprietà di attrarre la limatura di ferro. Un pezzo qualunque di questo minerale, detto comunemente *calamita naturale*, introdotto nella limatura di ferro e poi ritirato, porta con se una parte di limatura attaccata principalmente in alcuni punti della sua superficie. Se si rompe in pezzi, ognuno di essi conserva la proprietà di attrarre la limatura di ferro. Quest'azione si esercita dalla calamita sulla limatura di altri due corpi, cioè del nickel e del cobalto. Ma può vedersi meglio l'azione stessa sospendendo pel suo mezzo un pezzo di ferro ad un filo, o sostenendolo sopra un pernio. Qualunque sia il corpo interposto fra l'ago di ferro e la calamita, l'attrazione si fa, l'ago si accosta, e tende a toccare la calamita. Rendendo mobile la calamita e tenendo fisso il ferro, sarebbe la calamita che si moverebbe, che correrebbe a toccare il ferro.

Se si fa variare la distanza fra la calamita e l'ago di ferro, varia l'azione che ha luogo fra i due corpi. Si può sospendere il ferro attratto ad un filo di torsione, e misurare così quale è quest'azione alle diverse distanze. Coulomb ha trovato che l'attrazione della calamita pel ferro, *che l'azione magnetica, varia in ragione inversa dei quadrati delle distanze.*

Qualunque sia il modo che s'adopera per verificare l'azione di una calamita sul ferro, sia che si mette a contatto della limatura, sia che si avvicini in vari punti della sua superficie ad un filo o ago di ferro sospeso, si trova sempre che vi sono in ogni calamita alcuni punti o centri di maggiore attrazione, dove la limatura si raccoglie in maggior quantità, o dove l'ago è attratto con più forza. Così se si copre una calamita con una carta e sopra questa si getta della limatura di ferro, si vede la limatura disporsi come nella *Fig.* 174. I due punti p p' che attirano la limatura maggiormente degli altri, si dicono *i poli* della calamita. V'è fra questi una linea m m', perpendicolare alla linea e e' che congiunge i poli, ove l'attrazione non è sensibile: questa linea si chiama *linea neutra*.

In una calamita alquanto grande si trovano talvolta due soli di questi poli, ma più frequentemente ve ne ha un maggior numero. Se la calamita si rompe, ogni frammento, per quanto piccolo sia, seguita ad avere una linea neutra e due poli almeno.

Allorchè un pezzo di ferro è a contatto di una calamita, si trova che quel pezzo di ferro ha acquistato le proprietà tutte di una calamita. Se si accosta a quella estremità del ferro che non tocca la calamita, della limatura di ferro, l'attira: un altro filo di ferro è pure attratto e sostenuto (*Fig.* 175.) Può anche vedersi facilmente, e colla limatura e coll'ago di ferro sospeso, che il ferro a contatto della calamita ha acquistato i due poli e la linea neutra, e così è accaduto di tutti gli altri fili di ferro che si sono avvicinati e messi a contatto del primo ferro. Separati però che ne siano perdono la polarità, e tornano come innanzi; ma possono bene riacquistarla messi di nuovo a contatto della calamita. V'è una combinazione di ferro e di carbonio, l'acciaio, che non solo prova l'attrazione della calamita come il ferro, ma di più conserva le proprietà acquistate al contatto della calamita. È questo il modo di avere calamite *artificiali*. Una calamita artificiale, di cui già molte volte v'ho parlato, è una verga o un cilindro d'acciaio calamitato. Un ago *calamitato* consiste (*Fig.* 176) in un piccolo rettangolo o losanga di acciaio calamitato che ha i due poli situati alle due estremità, e mobile sul pernio c. Si fanno anche delle verghe o sbarre calamitate, e queste si riuniscono (*Fig.* 185) a fasci. I poli di ognuna di queste sbarre sono sempre posti alle estremità. Si suol dare alle verghe calamitate la forma d'un *ferro di cavallo*, nel qual caso i due poli a e b sono avvicinati (*Fig.* 177). Alle calamite naturali si aggiungono, pel solito, due pezzi l e l' di ferro o di acciaio (*Fig.* 178), e allora dicesi che la *calamita è armata*. I pezzi aggiunti, applicati sui due poli e perpendicolarmente alla linea che li congiunge, acquistano tutte le proprietà della calamita con cui sono a contatto: i poli p p' sono due pezzi di ferro uniti alle armature.

Devo anche dirvi che si usa sempre di tenere le due estremità o poli di una calamita a ferro di cavallo, sia artificiale, sia naturale e armata, a contatto di un pezzo di ferro dolce p p' che si chiama *l'ancora* della calamita (*Fig.* 177 e 178). Si sospende all'ancora un bacino di bilancia che si può caricare di pesi, per avere così la misura della forza di attrazione della calamita. Vi riferirò a questo proposito un curioso fatto, che ci è confermato dalla giornaliera esperienza. Se si attacca l'ancora ad una calamita e s'aggiungono nel bacino tanti pesi, quanti ne può portare, si trova che dopo un qualche tempo la forza della calamita, lo sforzo con cui attira il ferro dell'ancora si sono accresciuti, di maniera che si possono aggiunger nuovi pesi senza che l'ancora si di-

stacchi: questo processo, che chiamasi di *nutrire la calamita*, si prosegue per molto tempo, sempre accrescendosi i pesi nel bacino. Ma se poi ad un tratto il bacino si distacca, è impossibile che in un momento possa la calamita riprender la forza che aveva; l'ancora così carica non è più sostenuta, e non torna a quel punto che dopo un certo tempo, e col processo descritto.

È anche curiosa e notabile l'influenza della temperatura sulle calamite. Se si riscalda una calamita, e mentre è così riscaldata anche di pochi gradi al disopra della temperatura a cui è stata presa, si misura la sua forza attrattiva sul ferro, si trova che è diminuita, e pare poi che col raffreddarsi riprenda la forza che aveva. Seguitando a riscaldare la calamita alla temperatura dell'olio bollente perde essa la polarità, e non rimane più che suscettibile di essere attratta da un'altra calamita, come lo è il ferro dolce. Ad una temperatura assai più alta cessa anche di avere questa proprietà. Al contrario il raffreddamento accresce la forza magnetica d'una calamita.

Adopero l'espressione *forza magnetica* per la sola ragione di non ripetere tutte le volte la proprietà della calamita di attrarre il ferro.

L'influenza del raffreddamento avea fatto pensare che tutti i corpi avessero un punto di temperatura, inferiore sempre di molto alla temperatura ordinaria, al quale presentassero le proprietà del ferro, nikel e cobalto rispetto alla calamita. E così Pouillet avea creduto che il manganese a 20° sotto lo zero non differisse dai metalli che ho nominati. Alcune esperienze però più accurate di Faraday hanno mostrato che questa osservazione era falsa.

I più piccoli cambiamenti molecolari influiscono sulle proprietà magnetiche del ferro e dell'acciaio. Quanto più il ferro è dolce e puro, tanto più facilmente si magnetizza a contatto di una calamita, e separato da questa cessa affatto di esserlo. Quanto più il ferro è impuro, quanto più l'acciaio ha una tempra dura tanto più è difficile a magnetizzarsi, e tanto più persiste, una volta magnetizzato, nel conservare le proprietà acquistate. Basta di torcere, di tagliare, di limare, di battere un pezzo di ferro dolce che è a contatto di una calamita, perchè conservi la proprietà magnetica acquistata in quel contatto.

Se si sospende un ago calamitato sopra un pernio, o si appende ad un filo senza torsione, come sarebbe un filo tratto dal bozzolo, o si mette a galleggiare sopra l'acqua, si vede che dopo avere oscillato per qualche tempo, si fissa in una direzione particolare, la quale è sempre la stessa per uno stesso luogo della terra, e per qualunque altro ago o verga calamitata che possa muoversi in un piano orizzontale. Questa direzione $a\,b$ [*Fig.* 186] è quasi parallela al meridiano terrestre *s n*. Per Parigi la direzione costante del l'ago calamitato fa col meridiano un angolo di 22° all'ovest per quella metà o estremità dell'ago che si dirige verso il polo nord, e di altrettanto verso l'est per l'altra estremità dell'ago che è rivolta verso il sud. Questa posizione dell'ago non è realmente fissa che dentro dei limiti molto vicini di tempo: vedremo più innanzi con quali leggi questa posizione sia variabile. Si chiama *meridiano magnetico* il piano verticale che passa per i due poli o estremità dell'ago calamitato mobile orizzontalmente, e preso allorchè l'ago è fermo. Dicesi *declinazione* o *angolo di declinazione* l'angolo compreso fra il meridiano magnetico ed il terrestre, pel luogo in cui si fa l'osservazione. La declinazione si dice *occidentale* o *orientale* secondo che l'estremità dell'ago che si volta verso il nord, è all'ovest o all'est del meridiano terrestre.

Allorchè si osservano molti aghi calamitati tutti egualmente sospesi e mobili in un piano orizzontale, tenuti alla distanza di un qualche piede l'uno dall'altro, si trova che sono paralleli; e non può esser diversamente dopo ciò che abbiamo detto, supposto che le distanze che passano fra questi aghi non sieno molto grandi. Se si avvicinano questi aghi, se le loro estremità s'accostano, cessano di essere paralleli. Se le estremità che si accostano sono quelle rivolte verso lo stesso punto dell'orizzonte, o *sono i poli dello stesso nome* che si avvicinano, si vede che si rispingono fra loro: se invece si accostano le due estremità che si dirigono verso punti opposti dell'orizzonte, cioè *poli di nome contrario*, si osserva invece che si attirano. Si chiamano poli dello stesso nome, quelle estremità degli aghi calamitati che guardano verso una stessa parte della Terra. La legge è semplicissima: *i poli dello stesso nome si respingono, i poli di nome contrario si attirano.*

Questa legge ci mette in grado di rappresentarci meglio in che consista *l'azione direttrice della terra*, cioè quell'azione costante per cui abbiamo visto la calamita fissarsi sempre in un piano, che si è chiamato il meridiano magnetico.

Eccovi una verga calamitata molto forte: questa verga si collochi, come se fosse mobile, nel meridiano magnetico. Nel mezzo di questa verga colloco un piccolo ago calamitato, e veggo che qualunque sia la posizione della verga, l'ago si fissa in una direzio-

ne parallela all'asse della verga o della linea che congiunge i suoi poli. L'ago infatti è sottoposte a forze che passano per l'asse della verga calamitata. Se poi si osserva la posizione dei poli dell'ago posto sopra la verga, si trova che è all'opposto di quella che ha l'ago quando non è soggetto all'azione della verga. Così quell'estremità dell'ago che, senza la verga, guarda il nord, sotto l'azione della verga guarda al sud, e al contrario per l'altra. E ciò è la conseguenza della legge che abbiamo già data, e dell'azione prevalente della verga calamitata sopra quella della terra. Se si forza l'ago ad avere sotto l'azione della verga la posizione che ha senza questa, si vede che abbandonato a sè, si dispone immediatamente in una posizione contraria: se allora si toglie la verga, s'inverte all'istante e si fissa nella posizione solita.

Non possiamo perciò astenerci dal considerare l'azione *direttrice* della terra sopra la calamita, come quella che avrebbe se una calamita vi si contenesse ad una certa profondità, ed avesse dei centri di azione magnetica, e poli collocati negli emisferi *australe* e *boreale* della terra. Perciò si ammette che l'estremità di un ago che guarda al sud della terra, possegga le proprietà magnetiche dell'emisfero boreale; e quella estremità che è rivolta al nord, possegga le proprietà magnetiche dell'emisfero australe. Si dice adunque polo *australe* dell'ago quello che si dirige al nord, e *boreale* quello che si volge al sud.

Dobbiamo rappresentarci le azioni magnetiche di un emisfero della terra, tutte concordanti, sopra una particella di una calamita, come facciamo per l'azione d'una calamita sopra l'elemento di un ago. Si riducono queste azioni ad una forza unica che emana da un polo come da un centro di forze parallele. Consideriamo questo punto tanto profondo nel seno della terra, da potersi riguardare come costanti la intensità e la direzione di questa risultante rispetto a diversi punti presi alla superficie della terra, e poco lontani gli uni dagli altri. Questa risultante deve egualmente riguardarsi nella sua azione concordante sui diversi punti della metà dell'ago, come applicata al polo corrispondente dell'ago stesso. Quindi ogni polo dell'ago è sollecitato da due forze, l'una attrattiva l'altra ripulsiva, rispettivamente eguali e parallele; è insomma sotto l'azione di una coppia di due forze eguali, parallele ed opposte, applicate alle due estremità o poli dell'ago; e l'ago perciò si fissa col suo asse nella direzione comune di queste forze. Non risulta già dall'azione magnetica del globo sopra una calamita alcuna forza che tenda a cambiar posto al suo centro di gravità; e il magnetismo della terra non esercita che un'azione direttrice.

Così un ago d'acciaio sospeso pel suo centro di gravità ad un filo prima di essere calamitato, vi si conserva anche dopo che è stato calamitato, e il filo rimane verticale. A fine di conoscere qual'è la direzione delle forze magnetiche della terra sopra l'ago calamitato, si sospende un ago d'acciaio pel suo centro di gravità (*Fig.* 183) ad un asse orizzontale e quindi in modo che sia in equilibrio in tutti i punti. Se allora si calamita l'ago e si rimette di nuovo al suo posto, si trova che portato il piano verticale *z c*, in cui l'ago è unicamente mobile, nel meridiano magnetico, esso si fissa in equilibrio in una determinata posizione. L'angolo che fa il suo asse *b c a* coll'orizzonte si dice *inclinazione* dell'ago calamitato. Per Parigi il polo australe dell'ago è inclinato in basso, e fa un angolo di circa 70° coll'orizzonte.

L'azione magnetica della terra deve anche mostrarsi capace di magnetizzare il ferro. Questa azione sarà maggiore, se si colloca il ferro che si vuol magnetizzare nella direzione dell'ago d'inclinazione. Si osserva infatti che un filo di ferro dolce messo in quella direzione si magnetizza, prendendo dei poli contrari a quelli della terra. E se mentre il ferro dolce è così magnetizzato per l'azione della terra, si percuote e si torce, può esser poscia allontanato da quella posizione, senza che perda il magnetismo che ha acquistato. Di qui è che tutti i ferri sparsi in natura, tutti i ferri che continuamente si adoperano, si trovano magnetizzati.

Ora possiamo indicare in quali maniere si può sottrarre un ago calamitato all'azione magnetica della terra. Una di queste maniere consiste nell'avvicinare all'ago una calamita in guisa che i due poli vicini, dell'ago e della calamita, sieno dello stesso nome; ciò si fa fissando l'asse della calamita nel meridiano magnetico e accostando il suo polo australe all'australe dell'ago, e viceversa. Col variar posto alla calamita, e accostarla più e meno secondo la sua forza, si giunge a distruggere quasi interamente l'azione della terra.

Si fa anche un sistema di aghi magnetici, che dicesi *astatico*, e che è insensibile all'azione della terra. Consiste questo sistema in due aghi perfettamente simili di forma e di lunghezza, calamitati egualmente, a fissi sopra uno stesso asse verticale (*Figura* 184) in modo, che guardino da una stessa parte i poli di nome contrario e sieno

nello stesso piano. L'azione della terra, esercitandosi in senso contrario sui due aghi, diviene nulla sul sistema.

Resterebbe ora a parlare dei metodi adoperati per ottenere le calamite artificiali: ma stimo bene dirvi prima come si possa determinare l'intensità della forza magnetica. Se si sospende un ago calamitato ad un filo di bozzolo senza torsione, e poi, dopo averlo spostato dal meridiano, si abbandona, l'ago ritorna alla sua posizione facendo intorno di questa una serie di oscillazioni isocrone, come quelle di un pendolo spostato dalla verticale.

Risovvenitevi che abbiamo con questo mezzo imparato a trovare la intensità relativa della gravità all'equatore, ai poli, o in qualunque altro punto della terra. Nello stesso modo, supposta costante l'intensità magnetica della terra, come può considerarsi per un breve intervallo di tempo e in un dato luogo, si avrà il rapporto dell'intensità magnetica di due aghi o di due calamite determinando il numero delle oscillazioni che fanno in un dato tempo. Detti n ed n' questi numeri, le forze magnetiche f ed f' stanno fra loro come i quadrati dei numeri delle oscillazioni, cioè si ha $f:f'::n^2:n'^2$. Con un processo fondato sullo stesso principio si misura l'intensità magnetica di una calamita nei suoi diversi punti. Si prende un ago calamitato sospeso nel modo solito, e si fa oscillare, sottoposto così alla doppia azione della terra e della calamita. Sia n' il numero delle oscillazioni che fa in un dato tempo: poi si determina il numero delle oscillazioni che fa nello stesso tempo sotto la sola azione magnetica della terra. Sia n questo numero è evidente che $n'-n$ rappresenta l'azione della calamita sola. Se si ha per un altro punto della calamita o per un'altra calamita, il numero n'' per il numero delle oscillazioni fatte dall'ago sotto la doppia azione della calamita e della terra, è evidente che l'azione sola della calamita sarà espressa da $n''-n$. Per cui il confronto delle forze magnetiche nei due casi si avrà dalla proporzione; $f:f'::(n'-n)^2:(n''-n)^2$.

Con questo metodo Coulomb è giunto a determinare la distribuzione delle forze magnetiche nelle verghe e negli aghi calamitati. Egli rappresenta graficamente i risultati delle sue osservazioni con tante ordinate proporzionali alle intensità trovate e innalzate nello stesso piano perpendicolarmente all'asse del filo calamitato. La curva formata dalle estremità di queste ordinate riunite, si compone di due rami corrispondenti alle due metà dell'ago o verga calamitata. Ciascuna di esse è chiamata *curva delle intensità*. Le ordinate sono nulle al mezzo, e insensibili per una certa distanza dal mezzo. Poi crescono rapidamente sino all'estremità dell'ago. Nei fili calamitati dello stesso diametro e di cui le varie lunghezze superano 6 a 8 pollici, la curva delle intensità è esattamente la stessa. Di che viene, e l'esperienza lo dimostra, che i *momenti magnetici* sono proporzionali alle loro lunghezze. Misura Coulomb i momenti magnetici coi diversi angoli di torsione necessari perchè un ago calamitato, messo nella bilancia di torsione, soffra una determinata deviazione sotto l'azione delle diverse calamite. La distanza del polo magnetico varia all'estremità dell'ago secondo le dimensioni della calamita. Nelle piccole calamite questa distanza è il sesto della lunghezza totale, presa partendo dalle estremità. Negli aghi fatti a losanga i poli si scostano anche più dalle estremità.

Si è trovato utile invece di costruire delle verghe calamitate molto grosse, di riunire insieme molte verghe più sottili: in questo caso la disposizione che si trova più vantaggiosa è di riunirle a scaglioni (*Fig.* 185). Se ne fanno alcune più lunghe e altre più corte; si dispongono nel mezzo del fascio le più lunghe, e a gradi a gradi le più corte egualmente da una parte e dall'altra.

Il processo più facile per calamitare un piccol ago d'acciaio, è quello di strisciarvi sopra, andando costantemente da un'estremità all'altra, col polo di una calamita qualunque. Se ad ogni strisciata si misura l'intensità magnetica acquistata dall'ago, si trova che questa cresce per un certo numero, e poi cessa.

Passando di nuovo sullo stesso ago con una calamita più forte, applicandovi lo stesso polo ed operando egualmente, può aversi ancora un qualche aumento nel magnetismo dell'ago. Non si tarda però a giungere al punto in cui continuando, anche con calamite più forti, l'ago non guadagna più.

Questo limite si dice *punto di saturazione* dell'ago. Potrebbesi, con calamite molto forti, ottenere per poco tempo un aumento di magnetismo: un tale aumento però non persisterebbe. In tutte queste operazioni, l'intensità della calamita che si adopera per magnetizzare non soffre alcuna diminuzione. Conviene ben guardarsi dallo strisciare colla calamita sull'ago in senso opposto a quello che si è tenuto nel magnetizzarlo, perchè così facendo non si giungerebbe a dare all'ago alcun magnetismo. Quando adunque si è pervenuto all'estremità opposta a quella da cui s'è cominciato, si distac-

ca la calamita e si riporta da capo al punto da cui s'è cominciato. Così se si vuol distruggere una parte del magnetismo di un ago, si fa scorrere la calamita in direzione contraria a quella che si usò per magnetizzarlo. Non è però raro che avvenga di ridurre l'ago ad avere più di due poli alle estremità: si formano qualche volta più poli, che sono distribuiti sull'ago. Chiamansi *punti conseguenti* questi doppi poli di nome contrario, e formansi essi più specialmente nell'acciaio molto temperato. Oltre ai due poli che sono alle estremità, ve ne sono altri due o altri quattro disposti sempre a modo, che due poli di nome contrario sieno prossimi.

Allorquando si vogliono calamitare delle verghe grosse di acciaio, s'adoperano diversi metodi. Uno di essi è quello immaginato da Duhamel, cioè del *contatto separato*. Si dispongono due verghe calamitate o due fasci di verghe in maniera, che si guardino coi poli di nome contrario (*Fig.* 187): vi si posa sopra la verga *a b* che si vuol calamitare. Poi si pigliano nelle mani due altre verghe calamitate, si rivoltano coi poli di nome contrario e inclinate da 25° a 30° sulla verga che si vuol calamitare, e si posano sul suo mezzo. Ognuna delle verghe mobili tocca la verga da calamitarsi collo stesso polo col quale io tocca l'estremità della calamita fissa verso cui si muove. Allora si allontanano l'una dall'altra separandole, e conducendole alle estremità della verga che si vuol calamitare. A quel punto si sollevano e si riportano al mezzo, e così si continuano le confricazioni. Questo processo è il più utile.

V'è anche il processo di Epino, detto del *doppio contatto*. Il qual processo differisce da quello di Duhamel in ciò, che l'inclinazione delle calamite mobili è minore, e solo di 15° o 22° Di più colle due verghe si va insieme dal mezzo ad una delle estremità, da questa all'altra estremità; indi si retroceda, e così di seguito. Ma un tale processo non riesce bene, se si tratta di calamitare aghi sottili: oltre di che i due poli non sono mai di eguale intensità, e spesso si fanno dei punti conseguenti.

LEZIONE LVIII.

Azione fra le correnti e le calamite. — Fatto di Oersted. — Legge di Biot e Savart. — Rotazione delle calamite prodotta dalle correnti. — Galvanometro.

Ora che conosciamo le principali proprietà di una calamita, possiamo meglio studiare i suoi rapporti colla corrente elettrica, e stabilire le leggi dell'azione della corrente sopra la calamita.

Il fatto fondamentale scoperto da Oersted nell'anno 1819, si è l'abbandonare che fa un ago calamitato la sua posizione, e il mettersi ad oscillare allorchè si avvicina il filo metallico che congiunge i poli di una pila. Egli è facile di vedere le leggi di quest'azione. Se si dirige la corrente dal sud al nord, portando il filo metallico al disopra dell'ago e parallelamente alla sua direzione, il movimento che prende l'ago è tale, che il suo polo australe, cioè quella estremità che è diretta al nord della terra, si avolge verso l'occidente: questa stessa estremità devia verso l'oriente, se si cangia la direzione della corrente, cioè se si fa andare dal nord al sud. Portando il filo al disotto dell'ago s'invertono negli stessi casi le deviazioni; quando la corrente va dal sud al nord, il polo australe va all'oriente; quando va dal nord al sud, lo stesso polo va all'occidente. Se il filo si pone nello stesso piano dell'ago, a diritta o a sinistra, l'ago non devia, ma s'inclina all'orizzonte; e quando il filo è all'oriente e la corrente è diretta dal sud al nord, il polo australe s'abbassa: s'innalza nel caso contrario.

Ampere analizzando queste azioni della corrente, le riduce a due fatti principali: 1.° la corrente elettrica tende a stabilire la direzione dell'ago perpendicolarmente alla sua: nell'esperienza che abbiamo fatto, s'è visto l'ago rimanere sempre più o meno inclinato alla corrente, e non può essere in diversa guisa; perciocchè l'ago essendo sempre soggetto all'azione magnetica della terra, non può ubbidire intieramente all'azione magnetica della corrente. Qualunque sistema di aghi o qualunque ago fatto astatico, che si adoperi per assoggettarlo all'azione della corrente, si dirige perpendicolarmente alla corrente. 2.° Rappresentandoci la corrente con un osservatore in cui sia essa diretta dai piedi alla testa, e rivolto sempre colla faccia verso il mezzo dell'ago, la deviazione che questo prova in tutti i casi è tale, che il suo polo australe, quello che è rivolto al nord della terra, è portato verso la sinistra della corrente o dell'osservatore che abbiamo supposto.

È inutile avvertire, che supponendo mobile il conduttore invece della calamita e tenendo fissa la calamita, una corrente che si faccia passare nel conduttore è subito mo-

strata dalla disposizione perpendicolare in cui egli si mette rispetto all'asse della calamita. E anche in questo movimento del conduttore il polo australe della calamita si trova alla sinistra della corrente. Basta di accostare una verga calamitata qualunque al conduttore mobile della *Figura* 163, perchè si scorga il movimento che ho descritto.

Tutti questi fatti c' indicano che l'azione della corrente può esser considerata come ridotta a due forze applicate ai due poli della calamita, di cui le intensità variano colla distanza, in direzioni opposte e perpendicolari ai piani condotti fra il conduttore rettilineo ed ognuno dei poli. Se ammettiamo estremamente piccola la lunghezza della calamita in confronto della distanza che la separa dalla corrente, queste forze si riducono ad una coppia che tende a metter l'ago in una posizione fissa, normale al piano tirato fra il suo centro e il conduttore.

Facendo agire la corrente sopra un ago ordinario di declinazione, si trova che la deviazione cresce colla distanza e coll'intensità della corrente. Già abbiamo stabilito che l'azione della corrente sull'ago calamitato non dipendeva dal numero delle coppie, e che solo variava per questo numero adoperando per arco un corpo non perfetto conduttore. Sic che si faccia variare convenientemente l'estensione dello zinco della coppia, sia che si ripete sull'ago l'azione di una data corrente, si trova sempre che l'azione sull'ago, la deviazione che questo soffre, cresce al crescere della quantità di elettricità che circola, ed è perciò che l'intensità della corrente è misurata dalle diverse deviazione che produce nell'ago calamitato.

Biot e Savart ci hanno dato la legge dell'azione d'una corrente sopra una calamita alle diverse distanze. L'apparecchio che questi Fisici hanno adoperato per dedurla, è un conduttore rettilineo verticale lungo dieci piedi, in faccie del quale si fa oscillare a diverse distanze un piccolo ago calamitato prismatico sospeso orizzontalmente ad un filo senza torsione. Si rende l'ago astatico con una forte calamita posta alla conveniente distanza, nel modo che già abbiamo detto. Contando il numero delle oscillazioni fatte dall'ago nello stesso tempo alle diverse distanze, supponendo che la corrente conservi la stessa intensità e paragonando i quadrati di quei numeri, si è dimostrato che l'azione della corrente sull'ago variava in ragione inversa della *semplice* distanza. Sostituendo al conduttore rettilineo un altro conduttore piegato ad angolo, e disponendo il centro della calamita *c* nel suo piano (*Fig.* 188), esternamente e sulla linea orizzontale che divide l'angolo in due parti eguali, Biot ha veduto che l'azione della corrente sull'ago variava ancora in ragione inversa della semplice distanza al vertice dell'angolo, e quindi proporzionalmente alla tangente della metà dell'inclinazione della corrente all'orizzonte.

Laplace, applicando l'analisi alle leggi scoperte da Biot e da Savart, ha concluso che l'azione esercitata da un *elemento lineare* di una corrente sopra la particella di una calamita, variava in ragione inversa del quadrato della distanza e proporzionalmente al seno dell'angolo, che fa colla direzione della corrente la linea che congiunge i centri dell'elemento e della particella. Si vede col semplice ragionamento, che l'azione di un conduttore sopra una calamita non si riduce a quelli soli de' suoi punti più prossimi alla medesima, ma che tutti i punti del conduttore vi agiscono sopra con una intensità la quale diminuisce quanto più i punti son lontani; e ciò per la maggior distanza e per la maggiore inclinazione con cui operano. E l'azione di questi punti non variando per tutti egualmente allorchè il conduttore s'allontana, segue che l'effetto della distanza sia minore di quello che sarebbe se si riducesse ad un solo punto del conduttore.

Si manifesta anche l'azione delle correnti sulla calamita con un movimento rotatorio che è capace d'imprimervi, allorchè è disposta l'esperienza convenientemente. Il fatto scoperto da Faraday è il seguente: in un largo cilindro di vetro *v v'* (*Fig.* 189) pieno di mercurio si tuffa una calamita cilindrica *a b*, al basso della quale si fissa un pezzo di platino *p* che serve a reggerla e a tenerla immersa. Con uno de' suoi poli esce la calamita di qualche millimetro sopra il mercurio. Nel mezzo del mercurio si fa pescare una punta metallica *t* che comunica con uno dei poli della pila: l'altro polo comunica con un anello *c'* pure metallico, che entra esattamente nel cilindro e va a toccare la superficie del mercurio. Al momento che la corrente passa, la calamita si mette a ruotare; e il senso con cui ruota s'inverte, invertendo la direzione della corrente. Si può disporre l'esperienza in modo, che la calamita giri intorno al proprio asse: si fa perciò che la calamita abbia superiormente (*Fig.* 190) una piccola cavità *g* la quale s'empie di mercurio. La punta che è unita ad uno dei poli della pila si fa pescare nel mercurio che è in questa piccola cavità. La corrente percorre in parte la calamita, poi va a trovare l'altro polo attraversando

il mercurio. La direzione del movimento rotatorio s' inverte, invertendo la direzione della corrente, o conservando questa e mutando la posizione dei poli della calamita.

Egualmente accade la rotazione dei conduttori intorno alle calamite. L' esperienza si fa coll'apparecchio (*Fig.* 202.). M N è un vaso metallico anulare pieno d' acqua acidulata, il cui orifizio centrale è occupato dal polo di una calamita : sugli orli di questo orifizio s' innalza un tubo di vetro *a b* terminato da una piccola cavità in cui riposa la punta *s a* d' un conduttore *c d e f*, le cui estremità inferiori sono saldate ad un anello di rame immerso nel liquido. Al disopra della punta *s a* il conduttore mobile ha una piccola capsula piena di mercurio, e nella quale è immerso uno dei reofori della pila; l'altro comunica col vaso anulare. Appena la corrente traversa il filo conduttore, questo si mette a ruotare intorno alla calamita; se la corrente ascende nel conduttore e il polo australe è in alto, il movimento di rotazione ha luogo dall' oriente all' occidente pel mezzogiorno ; se la calamita s' inverte, il movimento ha luogo in senso contrario.

Davy ha scoperto dei movimenti rotatori prodotti nel mercurio percorso dalla corrente sotto l' azione della calamita. Se si fanno pescare i due reofori di una pila molto energica in un bagno di mercurio perpendicolarmente alla sua superficie, e nello stesso tempo si avvicinano i poli di una forte calamita o sopra o sotto ad uno dei fili, il mercurio prende un movimento di rotazione intorno al filo. In questa esperienza bisogna coprire di vernice coibente i due fili, e lasciarne scoperte le sole punte. E fissati i fili in direzione verticale nel recipiente, si versa tanto mercurio che giunga a coprire le punte stesse. Le due altre estremità dei fili si fanno comunicare colla pila. Appena la corrente passa, due coni di mercurio s' innalzano sopra i due fili, e dai vertici di questi coni irraggiano delle onde in tutte le direzioni. Avvicinando i poli di una forte calamita, i coni si abbassano, si fanno piani, e avvicinandoli maggiormente, i due coni si convertono in due cavità. Anche lo stagno in fusione produce dei fenomeni simili.

Cade qui opportuno darvi la teoria di on istrumento di cui così spesso ci siamo serviti, cioè del *Galvanometro* o *Moltiplicatore*, che Péclet propone di chiamare *Reometro*. È evidente che facendo con un filo conduttore uno o più rettangoli (*Fig.* 126), e collocandoli in modo che un ago calamitato che vi si sospende in mezzo sia col suo asse nel piano stesso del rettangolo, se si fa passare una corrente per il detto filo, l' ago dev' essere immediatamente deviato. È anche facile ad intendersi, dopo ciò che si è detto al principio della lezione, che tutti i lati del rettangolo, tutte le porzioni della corrente agiranno di concordia per obbligare l'ago a deviare, e per muovere il suo polo australe verso la sinistra della corrente. Si ha perciò (*Fig.* 125 e 126) una specie di telaio di legno, intorno a cui si gira più volte un filo di rame ben coperto di seta perchè le correnti rimangano separate. Questo telaio è fissato sopra un piano circolare che ha tre viti verticali, le quali servono a metterlo orizzontale. Un braccio di metallo è fisso sullo stesso piede, e questo serve per sospendere a un filo di bozzolo senza torsione l'ago calamitato in mezzo al rettangolo. Un disco di cartone graduato è disposto nell' interno del rettangolo, ed indica il numero dei gradi di deviazione dell' ago. Quanto più è grande il numero dei giri o dei rettangoli costruiti col filo intorno all' ago, tanto più sarà l' effetto di una data corrente sull' ago. Con questo però non s'intende dire, che la lunghezza del filo del galvanometro debba prendersi in ogni caso molto grande. Ricordiamoci delle conseguenze della teoria di Ohm. Il solo filo del galvanometro aggiunto presenta una resistenza, di cui l'effetto sulla corrente è tanto più grande, quanto più è debole la forza elettro-motrice, o minore la resistenza del circuito interno. Ed ecco perchè si fa il galvanometro a filo corto e grosso per le correnti termo-elettriche, a filo lungo e sottile per le idro-elettriche. E difatti, benchè da una parte vi sia vantaggio nell' allungare il filo, perchè è possibile di poter così ripetere i giri e le azioni sopra l'ago, nulladimeno si giunge presto, colle sorgenti termo-elettriche, ad un limite in cui diventa maggiore la perdita per l' accrescinta resistenza prodotta dall' allungamento. Questo limite è naturalmente più lontano colle correnti idro-elettriche e voltiane, delle quali è maggiore assai la forza elettro-motrice, e quindi grande la lunghezza ridotta del circuito interno.

Si deve al nostro Nobili il più grande miglioramento che siasi fatto alla costruzione del galvanometro dopo che Schweiger lo ha immaginato. In luogo di un sol ago calamitato, Nobili ha sostituito il sistema astatico, che già abbiamo descritto (*Fig.* 181), e che si compone di due aghi egualmente calamitati, i cui poli sono disposti in modo da volgersi dalla stessa parte quelli di nome contrario: i due aghi sono uniti insieme o a mezzo di una paglia, o meglio legati ad un sottilissimo filo di ottone, e disposti l'uno in mezzo al galvanometro, e l'altro sopra

(*Fig.* 126). L'azione magnetica della terra è ridotta tanto minore quanto più il sistema è astatico; oltre di che la corrente agisce sui due aghi per farli muovere nello stesso senso. Non conviene però distruggere affatto l'azione della terra, e quindi il sistema non dev'essere compintamente astatico; senza di ciò l'ago sarebbe indifferente in tutte le posizioni: e poichè non può cominciarsi un'esperienza se l'ago e i lati lunghi del rettangolo galvanometrico non sono paralleli, così omettendo quella cautela bisognerebbe, ed ogni esperienza che si fa, girare l'istrumento, per ricondurre il galvanometro e l'ago ad essere paralleli. Si lascia perciò un po' più di magnetismo ad uno degli aghi; e questo basta perchè il sistema con lentissime oscillazioni torni, dopo essere stato deviato e che è cessata la corrente, alla sua posizione iniziale.

Siamo soliti a provare la sensibilità di un galvanometro notando la deviazione che ci mostra colla corrente termo-elettrica di una coppia, ferro e rame, scaldata colla mano. Quando si sa il numero dei giri del filo intorno all'ago, si può anche giudicare della sensibilità dell'istrumento dalla lentezza con cui si compie un'oscillazione dal sistema astatico. Volendo adoperare il galvanometro per le correnti della macchina elettrica, vuolsi un'altra precauzione; ed è quella di ricoprire il filo di due doppi di seta, e meglio d'una vernice di gomma-lacca. Senza questa cura i fili non sono mai abbastanza isolati uno dall'altro. Allorchè si mette uno dei capi di un galvanometro comune in comunicazione col conduttore della macchina e l'altro col suolo, si vede l'ago deviare appena si comincia a girare il disco. È a me avvenuto di prendere, sulle prime, questa deviazione per segno di corrente; ma ho veduto poscia essere invece elettricità diffusa che agisce sull'ago come sulle foglie d'un elettroscopio. È un'esperienza facile toglie ogni dubbio su di ciò. Mettasi a contatto del conduttore della macchina l'altro capo del galvanometro, e a quello che prima toccava il conduttore, facciasi toccare il suolo. Se la deviazione fosse prodotta da una corrente, il senso in cui avviene dovrebbe essere inverso di prima; ma vedesi, per contrario, che l'ago devia come prima. E devia pure come prima se uno solo dei capi del galvanometro si mette a contatto del conduttore, e l'altro si toglie affatto.

Facendosi ricerche delicate col galvanometro, conviene stabilire il rapporto fra le deviazioni dell'ago e le intensità delle correnti che le producono. Accade sempre che al primo chiudere del circuito l'ago è spinto per una specie di urto, e s'arresta per la resistenza e gli attriti che soffre; ritorna addietro, oscilla, e si fissa finalmente, facendo un angolo col meridiano da cui è partito, che è minore di quello fatto nel primo istante. Questa deviazione stabile è quella che si ha da notare, almeno in tutti quei casi in cui l'esperienza lo permetta: evvi equilibrio fra il magnetismo dell'ago e l'azione della corrente quando l'ago sta fermo.

Allorchè si fanno agire successivamente diverse correnti sopra l'ago di un galvanometro, e si notano le diverse deviazioni, possono prendersi gli archi di queste deviazioni come proporzionali alle forze o intensità delle correnti che le hanno prodotte? Per intendere che questa proporzionalità non può esistere basta riflettere, che a mano a mano che l'ago è mosso dalla sua posizione le correnti vi agiscono sopra sempre più inclinate, e che di più si accresce la distanza dei maggior numero di queste correnti dall'ago. Potrei facilmente mostrarvi che è ben diversa la intensità della corrente che occorre per deviare un ago dello stesso numero di gradi nei diversi punti della scala. Ci vuole un'intensità ben più grande perchè un ago passi da 30° a 31°, di quella che occorre per passare da 20° a 21°, e più da 10° a 11°, e più ancora da 0 a 1.° Conveniva perciò aver un metodo per costruire tavole di proporzionalità fra le due intensità e gli archi di deviazione; e Becquerel è il primo che abbia a tal fine indicato cotesti metodi, i quali poscia furono di molto estesi e studiati da Nobili e da Peltier. Fu felicissima la idea che venne a Becquerel di costruire il galvanometro con un filo doppio; nel qual caso sono quattro i capi che si hanno, e sono due i galvanometri (*Fig.* 207). Facendo comunicare insieme i due capi 1, 2 che entrano riuniti, e così pure gli altri due 3 e 4, il galvanometro è ad un filo solo, che è doppio di diametro del filo adoperato. Facendo comunicare i capi 2 e 3 si hanno i due capi 1 e 4 liberi, e si ha in tal guisa un galvanometro, il cui filo è lungo il doppio di quello di ognuno dei galvanometri formati dal solo filo *ac* o *bd*. Si possono infine adoperare separatamente i due galvanometri, mandandovi due correnti in direzione contraria. In questo caso il galvanometro chiamasi *differenziale*, ed è estremamente utile in molte ricerche.

Suppongasi di voler confrontare la conducibilità di due mezzi per una data corrente: si fa dividere nei due mezzi una corrente qualunque, e le due correnti parziali si mandano separate nei due galvanometri in direzione contraria. La deviazione che se

ne ha misura l'eccesso dell'una sopra l'altra, e quindi la differenza di conducibilità dei due mezzi.

Ecco come un galvanometro così costruito serve a determinare il rapporto fra le forze della corrente e gli archi di deviazione dell'ago calamitato. Si comincia dal far passare una data corrente per uno dei fili, e si nota la deviazione: poi la stessa corrente si fa passare per l'altro filo a modo, che sia doppio il numero dei giri che fa intorno all'ago. Si ha così un'azione doppia che è misurata da una data deviazione, la quale non è, dopo ciò che si è detto, doppia di quella che si è avuta quando la corrente percorreva un sol filo. Gli archi di deviazione non si possono riguardare proporzionali alle forze da cui sono prodotti, che entro i limiti di 0° a 15° o 20°. Conviene ripetere l'esperienza per i diversi gradi della scala, facendo variare convenientemente l'intensità della corrente. Potrebbe anche aversi un galvanometro a quattro o più fili, e le sperienze si farebbero più prontamente. Per questa graduazione vale del pari una pila termo-elettrica di un certo numero di coppie; in questo caso si fa variare la temperatura prima in una coppia sola, poi in due nello stesso tempo, quindi in tre ec., e si nota tutte le volte la deviazione che si produce nell'ago. È però necessario adoperare pile di un gran numero di coppie.

Ritchie si è valso in molte ricerche, ed utilmente, di un galvanometro che ha chiamato *a torsione*: l'ago astatico è sostenuto da un filo o di vetro o di metallo come nella bilancia di Coulomb, e la forza è determinata con gli stessi principi. Vedesi però facilmente che un tal galvanometro non giova in ricerche molto delicate, perchè alla corrente convien vincere la resistenza che incontra nella elasticità del filo cui l'ago è sospeso.

Meglio di tutti i metodi esposti per determinare i rapporti fra i gradi di deviazione dell'ago d'un galvanometro e di diversi gradi di forza d' una corrente, si presta quello già proposto da Wheatstone, il quale è una semplice applicazione della formola di Ohm. Sappiamo che allorquando la sorgente elettro-motrice rimane costante, la forza della corrente è universalmente proporzionale alla resistenza o lunghezza ridotta del circuito; perciò se si determina una volta la resistenza totale del circuito allorchè l'ago è deviato di 1°, e che in seguito per mezzo del reostata si rendono successivamente le resistenze 1/2, 1/3, 1/4, 1/5, le forze corrispondenti della corrente saranno 2, 3, 4, 5, ec. Reciprocamente se si determinano con successione le lunghezze ridotte a, b, c, d, ec., che convien togliere dal circuito per fare avanzar l'ago da un grado a quello che lo segue, le forze corrispondenti a questi gradi successivi saranno

$$\frac{1}{R},\ \frac{1}{R-a},\ \frac{1}{R-(a+b)},\ \frac{1}{R-(a+b+c)},\ \text{ec.}$$

LEZIONE LIX.

Azione della terra sulle correnti.—Teoria del magnetismo di Ampere.—Magnetismo dei corpi percorsi da una corrente elettrica. — Magnetizzazione prodotta dalla corrente e dalla scarica nel ferro dolce e nell'acciaio. — Fatti di Savary.

Vedemmo già qual fosse l'azione della terra sulle calamite, e ci rappresentammo i suoi effetti considerandola come una gran calamita avente i poli applicati a non molta distanza da quelli della terra stessa. Dopo dunque avere scoperta l'azione fra le calamite e le correnti, dobbiamo attenderci di trovarne fra la terra e le correnti. E basterà di avere dei conduttori mobili, sospesi come quelli della *Fig.* 172, per scoprire e determinare le leggi di questa azione. Eccovi un conduttore circolare $a\ b$, mobile intorno ad un asse verticale che passa per i suoi punti di sospensione e pel suo centro. Fo passare per questo conduttore la corrente di una pila, e all'istante il circolo è spostato, è spinto verso una certa parte, ritorna addietro, oscilla, e infine prende una posizione stabile, nella quale ritorna costantemente quante volte ne sia allontanato. Se si cangia la direzione della corrente, il circolo fa una semi-rivoluzione; oscilla di nuovo e si fissa nello stesso piano di prima, dirigendo però le sue parti in un modo diametralmente opposto. Il piano in cui si fissa è esattamente perpendicolare al piano del meridiano magnetico, e in tutti i casi *la corrente è diretta, nella parte inferiore più prossima alla superficie della terra, dall'oriente all'occidente.* Qualunque corrente orizzontale mobile si dispone sempre secondo la legge che si è detta. De la Rive ha immaginato degli apparecchi galleggianti che lo dimostrano facilmente: consistono (*Fig.* 192) in un filo di rame piegato a circolo, che ha alle estremità una lamina di rame r ad un capo, all'altro una lamina z di zinco. Onde accrescere gli effetti di que-

sto conduttore circolare si possono raddoppiare i fili, come si fa nel circuito del galvanometro: i due capi sono infilati in un disco di sughero, e portano lo zinco e il rame. Si mette il tutto a galleggiare sopra dell'acqua acidula, in cui perciò restano immerse le due lamine, e si produce così una corrente che circola nell'apparecchio, il quale, per quanto sia spostato, piglia costantemente la stessa posizione che prende il circolo nell'esperienza descritta da principio: in somma nella parte inferiore del circuito la corrente è costantemente diretta dall'est all'ovest.

Se la forza magnetica della terra si fa agire sopra una corrente verticale, mobile intorno ad un asse verticale, si trova che costantemente la corrente si dirige e si fissa per questa azione all'ovest quando è ascendente, all'est quando è discendente. Si vede da ciò, che se si hanno due conduttori verticali eguali, diametralmente opposti, collocati alla stessa distanza dall'asse di rotazione e percorsi nello stesso senso dalla corrente, essi formano un sistema elettrodinamico astatico, e perfettamente indifferente in tutte le posizioni.

L'apparecchio (*Fig.* 158 e 161) di cui ci siamo valsi per vedere la rotazione prodotta dalle correnti nelle correnti, dimostra ancora che la terra è capace di produrre questa rotazione nelle correnti orizzontali. Si toglie il moltiplicatore circolare (*Fig.* 160), e si fa passare una corrente piuttosto forte dal vaso circolare al conduttore mobile. La rotazione si fa dall' est all'ovest quando la corrente va dal centro alla circonferenza, e in senso contrario quando la corrente va dalla circonferenza al centro. Anzi si dee tenere che la rotazione delle correnti prodotta dal moltiplicatore circolare sia più o meno lenta, secondo che è o nello stesso senso o nel contrario di quella prodotta dalla sola azione del globo.

La direzione che prende una corrente che percorre una curva chiusa è una conseguenza diretta dell'azione esercitata dalla terra sopra una corrente orizzontale e sopra una corrente verticale. Possiamo rimpiazzare la corrente circolare con una rettangolare: i due rami orizzontali percorsi in senso contrario dalla corrente, tendono a girare di continuo e in direzioni opposte intorno all'asse di sospensione, e perciò si fanno equilibrio essendo eguali e similmente posti per rapporto all'asse di rotazione. Rimane l'azione della terra sui rami verticali, che è determinata dalla legge che abbiamo stabilita coll'esperienza. Il ramo in cui la corrente è ascendente tende a portarsi all'ovest, e all'est il ramo in cui è discendente. Le forze che sollecitano questi due rami verticali concorrono a dare al sistema la direzione osservata nel conduttore mobile circolare e nell'apparecchio galleggiante di De la Rive, nel quali la corrente è, nella parte inferiore più prossima alla terra, diretta sempre dall'est all'ovest. In qualunque modo una corrente sia incurvata, può sempre decomporsi ciascuno de' suoi elementi in due parti, l'una orizzontale e l'altra verticale. Le parti orizzontali tenderanno a produrre un movimento di rotazione, sia in un senso, sia in un altro, secondo la loro direzione: ma per ogni curva *chiusa* la somma degli elementi orizzontali percorsi in un senso, sarà eguale alla somma degli elementi percorsi in senso contrario. Vi sarà dunque equilibrio in questa parte di sistema: rimangono le correnti verticali, che tendono tutta a prendere una posizione fissa d'equilibrio. Se la curva è mobile intorno ad un asse che la divida in due parti, ne viene, come abbiamo visto or ora, che gli elementi verticali posti da ciascuna parte dell'asse, concorrono tutti a condurre la curva in quella posizione in cui la corrente va inferiormente dall'est all'ovest. Nel caso poi in cui la curva giri attorno ad un asse che la lasci tutta da uno stesso lato, allora il ramo verticale il più distante dall'asse agisce con un braccio di leva più grande, e determina il movimento del conduttore. Se la sua corrente è ascendente, il sistema si trasporta all'ovest dell'asse di rotazione, e all'est se è discendente; nel due casi la corrente dalla parte inferiore va dall'est all'ovest.

Questa azione della terra sulle correnti può rendersi molto maggiore piegando il filo conduttore in elica: già abbiamo data la teoria del cilindro elettro-dinamico, che non è altro che un filo piegato in elica. Ciascun giro dell'elica agisce, come si farebbe da una corrente circolare perpendicolare all'asse del cilindro, e da una piccola corrente parallela all'asse ed eguale in lunghezza al passo dell'elica. Qualunque sia questo passo, la curva intera agirà come farebbe una serie di circoli paralleli dello stesso numero dei giri dell'elica, ed una corrente rettilinea che fosse nell'asse. Facendo ritornare il filo conduttore nell'asse in senso contrario, la sua azione distrugge quella di tutte le piccole correnti eguali alla somma dei passi dell'elica, e non rimane che un apparecchio composto di circoli paralleli percorsi nello stesso tempo. E questo è l'apparecchio che abbiamo chiamato *cilindro elettro-dinamico*. Le due estremità del filo conduttore che compone il cilindro si fanno terminare in due punte (*Fig.* 168): con queste il cilindro si sospende nelle due cavità

del solito apparecchio (*Fig.* 163). Fattavi passar la corrente, il cilindro si dirige costantemente in modo che le correnti che percorrono le spire sieno ascendenti all'ovest e discendenti all'est. L'asse del cilindro si trova per conseguenza nel meridiano magnetico; ciascuna spira tende a dirigersi in maniera, che la sua sinistra guardi il polo nord della terra. Basta che invertiamo la direzione della corrente nel cilindro, perchè lo veggiamo fare con ognuna delle sue estremità una mezza rivoluzione, o perchè veggiamo dirigersi al nord la estremità che prima era diretta al sud. Se il cilindro elettro-dinamico percorso dalla corrente fosse mobile in un piano verticale e intorno ad un asse perpendicolare al meridiano magnetico, vedremmo il cilindro disporsi parallelamente all'ago d'inclinazione.

Le due estremità del cilindro possono essere considerate come i poli comuni di tutti i circoli che lo compongono; e per distinguere l'una dall'altra le due estremità o poli del cilindro, chiameremo polo nord o boreale del cilindro quello che è situato a destra della corrente dell'elica o cilindro, vale a dire il polo che si dirige al sud per l'azione della terra: nomineremo, al contrario, polo sud o australe del cilindro quello che si dirige al nord della terra, e che è alla sinistra delle correnti. Se si hanno due cilindri elettro-dinamici eguali a quello che ho descritto ed egualmente mobili, allorchè sono percorsi dalla corrente si dirigono paralleli l'uno all'altro. Presentando l'una all'altra le estremità dei due cilindri dirette ad una stessa parte della terra, i due poli dello stesso nome si vedranno respingersi; se invece s'avvicinano due poli di nome contrario, cioè una estremità diretta al nord ed una estremità diretta al sud della terra, vi sarà attrazione fra loro. Ricordate la legge fondamentale di Ampere, e intenderete tosto questi fenomeni: se si avvicinano due estremità o poli dello stesso nome, v'è ripulsione perchè le correnti percorrono le due eliche prossime in senso contrario; v'è invece attrazione quando s'accostano i poli di nome contrario, perchè le correnti delle eliche prossime sono dirette nello stesso senso.

È tanto intimo il legame tra i fatti dell'elettro-dinamismo e dell'elettro-magnetismo, è così grande l'analogia fra queste due classi di fenomeni, che conviene negare ogni metodo di generalizzare, ogni fondamento di Scienza fisica, per non adottare la teoria di Ampere che è fondata sopra l'identità dei due fatti.

Eccovi adunque cotesta teoria, e i due principi sopra i quali è stabilita.

Ampere considera ogni molecola di una calamita come circondata da una corrente elettrica che incessantemente si muove sia all'interno sia all'esterno della molecola, formando così un circuito chiuso, rientrante in se stesso, e di forma circolare. Considerando tante linee di molecole, parallele all'asse della calamita, si hanno tanti selenoidi elementari; e chiaro è che tutti i circuiti molecolari contenuti in una stessa sezione perpendicolare all'asse, possono essere rappresentati da un solo circuito *risultante*, e che in ultima analisi l'intera calamita può riguardarsi come un insieme di correnti circolari tutte dirette nell'istesso senso, contenute in piani paralleli fra loro, perpendicolari all'asse della calamita e aventi sopra questo asse i loro centri. Già vi ho mostrato come poteva costruirsi una spirale o cilindro elettro-dinamico, la cui azione si riducesse ad un sistema di correnti circolari chiuse: e questo cilindro appunto, nella ipotesi d'Ampere, rappresenta una calamita. Per avere un cilindro elettro-dinamico che dia esattamente i fenomeni di un ago calamitato convien costruire la spirale, non sopra un cilindro, ma bensì sopra due coni troncati, riuniti per la loro base. Il calcolo e l'esperienza ci provano che in un cilindro elettro-dinamico così costruito, le forze che ne emanano sull'ago non sono applicate all'estremità, ma bensì a punti alquanto più vicini al mezzo del cilindro. Il che abbiamo detto accadere rispetto alla posizione dei poli negli aghi calamitati.

L'altro principio della teoria d'Ampere consiste nel considerare la terra come circondata da tante correnti parallele all'equatore magnetico, e dirette dall'est all'ovest. Anche per la terra possono supporsi tutte le sue molecole circondate da tante correnti circolari chiuse, tutte parallele all'equatore magnetico; per ogni luogo della terra può sempre concepirsi che l'insieme delle azioni di tutte queste correnti si riduca all'azione di una sola corrente, alla quale dovremo attribuire una intensità e una posizione conveniente per rappresentarci i fenomeni di declinazione, d'inclinazione e d'intensità magnetica, che vedremo variare da un punto all'altro del globo. La posizione della corrente terrestre trovasi in ogni luogo in un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione: sopra l'equatore magnetico la corrente terrestre è in un piano verticale. Vedete un globo circondato da un filo metallico che da un polo all'altro scorre sulla sua superficie e parallelamente al suo equatore: se si fa passare una corrente per questo filo, osserverete il globo agire sopra un ago calamitato e sopra i cilindri elettro-di-

namici, dirigerli nel modo stesso, con quelle stesse leggi che abbiamo scoperte per l'azione magnetica della terra.

Ammessi questi due principi, la teoria di Ampère ci spiega nel modo il più soddisfacente tutti i fenomeni che abbiamo studiato nell'azione della terra e delle calamite sopra le correnti. Il cilindro elettro-dinamico, l'apparecchio galleggiante di De la Rive, il conduttore mobile circolare, tutti si dispongono in modo, che nella loro parte inferiore più prossima alla terra le correnti vadano dall'est all'ovest, cioè parallelamente e nello stesso senso della corrente della terra. Una calamita tende a stabilirsi col suo asse in una posizione perpendicolare alla corrente rettilinea che le si avvicina; e in tutti i casi o sopra o sotto che vi si avvicini la corrente, sia essa diretta dal sud al nord, o dal nord al sud, la posizione d'equilibrio che la calamita prende per l'azione della corrente è sempre tale, che nel conduttore e nella calamita le correnti prossime sono parallele e dirette nello stesso senso. La direzione di una calamita soggetta alle correnti della terra è pur tale, che nella terra e nella parte inferiore della calamita le correnti sono parallele e nello stesso senso: laonde le correnti della superficie inferiore debbono andare dall'est all'ovest come va la corrente della terra. Il polo australe di una calamita, quello che si dirige al nord, è quello per cui il lato ascendente della corrente si trova alla destra di un osservatore che guarda in faccia l'estremità della calamita. Le rotazioni che abbiamo visto prodursi dalla terra nelle correnti, dalle calamite nelle correnti, da queste nelle calamite, sono necessariamente dovute all'azione trovata coll'esperienza, fra una corrente indefinita o circolare e una corrente finita che vi si accosta o se ne allontana.

Un fatto che ben si lega alla teoria d'Ampère è quello del magnetismo prodotto dalla corrente elettrica. Arago scoprì il primo *che un conduttore qualunque, percorso dall'elettricità, attrae la limatura di ferro, e perde questa proprietà nell'istante in cui cessa di passarvi la corrente*. In questo fatto la corrente agisce esattamente come una calamita. La limatura di ferro circonda il filo conduttore e vi si applica perpendicolarmente. Può rendersi questa azione più energica disponendo il filo a spirale piana (*Fig.* 204); la limatura vi si attacca a pennacchi come al polo di una calamita. Un cilindro di ferro dolce tenuto perpendicolarmente al filo percorso dalla corrente, si magnetizza all'istante avendo il suo polo australe a sinistra della corrente. L'azione adunque che ha la corrente di magnetizzare dovrà esercitarsi colla maggiore intensità quando si circondi il ferro o l'acciaio che si vogliono magnetizzare, con tante correnti circolari parallele e perpendicolari all'asse della calamita. Il che si otterrà costruendo un cilindro elettro-dinamico analogo a quello con cui ci siamo rappresentati un ago calamitato, e introducendo nell'interno del cilindro un ago o un cilindro d'acciaio: se allora si fa passare la corrente, l'ago sarà all'istante calamitato.

Nell'uso dei cilindri elettro-dinamici o eliche è necessario di stabilire una distinzione importante. L'elica sopra di cui sin qui abbiamo ragionato, è quella che si fa piegando il filo verso la destra, è l'elica delle viti comuni, del *tirebouchon* ordinario. Quest'elica (*Fig.* 179) chiamasi *dextrorsum*. Un altra elica si può fare piegando il filo a sinistra, ed è l'elica *sinistrorsum* (*Fig.* 180); diretta cioè in senso contrario della precedente. Se si mette l'ago a calamitarsi in un elica dextrorsum, si trova che il polo boreale dell'ago si forma sempre a quella estremità per la quale entra la corrente.

Nella teoria d'Ampère spiegasi il fatto della magnetizzazione ammettendo che nei corpi magnetici non calamitati le correnti vi esistano, ma dirette indistintamente e confusamente in tutti i sensi possibili, a modo che l'insieme delle loro azioni si riduca a zero. La presenza di una corrente obbliga le correnti molecolari supposte nei corpi magnetici a disporsi in un ordine tale, che nel corpo magnetico che si calamita diventino parallele e dirette nello stesso senso della corrente magnetizzante. Trattandosi di ferro dolce le sue correnti ritornano nello stato di confusione allorchè è cessata la corrente, e perciò cessa di mostrarsi magnetizzato; nell'acciaio, invece, una volta disposte le correnti a tante selenoidi, conservano questa disposizione anche cessata l'azione che l'ha prodotta. Coll'elica dextrorsum deve dunque formarsi il polo boreale all'estremità in cui entra la corrente; in questo modo le correnti vi si dispongono come devono esserlo in una calamita parallela all'elica, e il cui polo boreale è dal lato pel quale entra la corrente. Il contrario deve accadere nella spirale sinistrorsum. Può rivolgersi il filo a modo, che formi successivamente delle eliche dextrorsum e sinistrorsum (*Fig.* 181). Con un'elica tale è chiaro per la teoria d'Ampère, e l'esperienza lo conferma, che ad ogni cambiamento di direzione del filo deve formarsi un *punto conseguente* nell'ago che viene calamitato. Posando un ago di acciaio sopra una spirale piana (*Fig.* 204), che è percorsa

della corrente, sia che questa vada dalla circonferenza al centro o inversamente, l'ago si magnetizza prendendo all'estremità i poli dello stesso nome. Un ago così calamitato non risente l'azione della terra, ed è molto utile a scoprire le più piccole tracce di magnetismo. Le grosse verghe d'acciaio non divengono che debolmente magnetiche sotto l'influenza delle correnti; al contrario il ferro dolce acquista una gran forza magnetica anche con correnti deboli. Possono adoperarsi verghe di ferro dolce temporariamente calamitato dalla corrante elettrica, per calamitare verghe d'acciaio col processo del doppio contatto, che già abbiamo descritto. E qui merita d'esser notata una osservazione curiosa, quella dell'influenza che mostra di avere in questo caso il fregamento successivo della calamita temporaria sopra l'acciaio che si vuol magnetizzare. Aimè dice di aver magnetizzato fortemente l'acciaio riscaldandolo a rosso, e così caldo tenendolo a contatto di una calamita di ferro dolce fatta temporaneamente col passaggio della corrente. Mentra dura questo contatto, Aimè fa raffreddare rapidamenta l'acciaio, e dice che conserva, così temperato, il magnetismo ricevuto quando era caldo. Già abbiamo visto che il calore rende l'acciaio più atto a perdere il suo magnetismo ed egualmente più atto ad acquistarlo.

Ma è mestieri che vi parli più estesamente del magnetismo tanto grande che prende il ferro dolce sotto l'azione delle correnti. Per produrre questo magnetismo si adoperano verghe di ferro dolce, o rette o ripiegate a ferro di cavallo, e intorno delle quali si avvolge un filo di rame ben coperto di seta, in modo che le diverse spire sieno isolate fra loro e dalla verga di ferro. È utile che il filo di rame con cui si fa la spira, abbia 4 o 5 millimetri di diametro. Per avere il maggior effetto si adopera una pila ad un elemento solo, o a pochi. Moll in due esperienza ha ottenuto il risultato che qui vi espongo. L'apparecchio vedetelo nella *Fig.* 197; *c* è la calamita temporanea i cui poli sono le estremità *m* e *n*, ed *a b* è l'ancora che è attratta da questa calamita. Una verga a ferro di cavallo di 51 millimetro di diametro, coperta di seta e di due eliche, il filo di rame delle quali aveva 5 millimetri di diametro, ha retto nel magnetizzarsi un peso di 76 libbre: la corrente era di un elemento zinco di soli 70 centimetri quadrati di superficie. Un'altra verga a ferro di cavallo di 2 pollici e mezzo di diametro, intorno a cui si avvolgeva a spirale un filo di ferro di 400 piedi di lunghezza, ha sostenuto un peso di 450 chilogrammi. Il maggiore effetto ha sempre luogo nell'istante in cui il circuito si chiude: cessa ogni azione appena è interrotta la corrente; e basta di cangiarne la direzione, perchè all'istante accada l'inversione dei poli.

Questa gran forza magnetica sviluppata dalla correnti nel ferro dolce, è stata impiegata per far muovere alcune macchine, o almeno si è tentata con una certa estensione l'applicazione di questo motore. Jacobi, Botto, Dal Negro, sono i Fisici che hanno realizzato pei primi, su modelli abbastanza grandi, il pensiero di questa applicazione. Il principio della quale è il segnante: immaginiamo delle verghe eguali di ferro dolce in numero pari, fissate perpendicolarmente alla circonferenza di una ruota o piatto fisso. Supponghiamo queste verghe circondata da tante eliche, o in modo che sièno contraria le direzioni delle spirali nelle verghe consecutive. Nel momento in cui vi si fa passare una corrente, la verghe di ferro diventano tante calamite che hanno successivamente i poli contrarî posti dalla stessa parte. Si costruisce un altro piatto o ruota affatto simile, con altrettante verghe di ferro dolea circondate da altre eliche simili. Questa seconda ruota è mobile, e allorchè si fa girare, le estremità delle verghe dall'una e dell'altra ruota vengono quasi a toccarsi. V'è infine un meccanismo, e non è difficile a farsi e ad immaginarsi, pel quale nel momento in cui le verghe superiori e le inferiori si toccano, s'inverte la direzione della corrente per le spire di uno qualunque del due piatti. Chiaro è che il piatto mobile dovrà prendera un movimento di rotazione. L'apparecchio di Jacobi, misurato per mezzo di una specie di *dinamometro* di Prony, dava un effetto valutabile ad un peso di 10 a 12 libbre sollevato all'altezza di 1 piede per secondo. L'esperienza più granda fattasi colla macchina elettro-magnetica come motore, è quella di Jacobi, con cui si è mosso un battello sulla Neva carico di molte persone, con una velocità di 5000 metri per ora.

Botto ha cercato di determinare il lavoro meccanico di una macchina elettro-magnetica, ed ha trovato che 67 chilogrammi di zinco impiegati in un giorno a generare la corrente, hanno prodotto in 24 ore un effetto dinamico misurato da 21,735,014 chilogrammi alzati a un metro d'altezza. Questi risultamenti farebbero sperare che la macchina elettro-magnetica fosse suscettibile di grandi applicazioni all'industria.

Prima di metter fine a questo argomento mi conviene ancora farvi un cenno dell'aziona singolara cha presenta la scarica della macchina elettrica o della bottiglia nel magnetizzare. Se si fa passare una serie di scintille tratte dal conduttore di una mac-

china attraverso ad un filo piegato a spirale, come si è fatto per la corrente, si trova presto che un ago d'acciaio contenuto nella spirale è calamitato. Questo fenomeno, scoperto dal March. Ridolfi poco dopo ai fatti d'Arago e d'Ampere del magnetismo prodotto dalle correnti, avviene, benchè più debolmente, colla scarica lenta, mettendo una delle estremità della spira a contatto del conduttore, e l'altra col suolo. Se in luogo d'un ago d'acciaio s'adopera un filo di ferro dolce, esso pure si magnetizza nell'atto in cui passa la scarica. Sopra questo principio si costruisce un apparecchio assai sensibile al passaggio della più piccola scarica. Si copre un filo di ferro dolce di una spirale e si dispone un ago astatico presso la spirale, in modo che il suo asse sia perpendicolare all'asse della spirale. Nel momento in cui passa la scarica, il ferro si calamita, e i due poli formati alle estremità del filo attirano i due poli contrari dell'ago magnetico più prossimo. In generale si trova che i poli che si formano dalla scarica nell'acciaio e nel ferro dolce hanno colla direzione della scarica lo stesso rapporto che hanno nel caso della corrente. Savary per altro ha scoperto molti notabili fenomeni, che sembrano stabilire una differenza fra la corrente continua della pila e la scarica istantanea della bottiglia. Disponendo in fili, infissi in una tavola, molti aghi eguali d'acciaio, tutti sopra una stessa linea, o facendovi passare da vicino una scarica per un filo che si diriga trasversalmente, alcuni di questi aghi sono magnetizzati come lo sarebbero da una corrente elettrica, ed altri lo sono *in senso inverso*. Il massimo d'intensità magnetica acquistata non è sempre nell'ago più prossimo al filo; e le inversioni nel senso del magnetismo preso dagli aghi che si riproducono più volte in un solo esperimento, variano col grado della scarica e colla lunghezza e col diametro del filo scaricatore. Questi effetti si verificano ancora, se si adopera in luogo d'un filo rettilineo per scaricare la batteria, un filo piegato a spirale. Ma di tutti i fenomeni scoperti da Savary, i più curiosi son quelli che riguardano l'influenza dei corpi interposti fra gli aghi da calamitarsi e il filo che conduce la scarica. Il senso e il grado del magnetismo prodotto in aghi identici da una data scarica, variano infinitamente separando l'ago dal filo con lamine di diversi metalli o con lamine più o meno grosse.

Sono ben importanti cotesti fenomeni. Nella lezione prossima vi mostrerò alcuni fatti che potrebbero metterci sulla via d'intenderli. Dopo le scoperte di Savary il fenomeno della magnetizzazione che nel caso della corrente può servire a fissarne la direzione, non può con eguale certezza adoperarsi nel caso della scarica. Tuttavia mi guarderei dal negare che anche con questa non sia, in tutti i casi, vero il principio generale d'Ampere; e trovo più ragionevole d'ammettere che troppo ancora ignoriamo in che consista la scarica elettrica, come differisca dalla corrente.

LEZIONI LX e LXI.

Induzione elettro-dinamica. — Induzione elettro-magnetica — Macchina magneto-elettrica. — Magnetismo di rotazione d'Arago. — Induzione elettro-statica.

Nel trattato dell'Elettricità statica vi mostrai che un corpo elettrizzato non rimaneva mai in presenza di un altro corpo lasciandolo allo stato naturale, che nel secondo corpo si sviluppano due stati elettrici; e che accade così l'influenza elettrica. Veggiamo ora ciò che avviene per l'elettricità allo stato di corrente: e coll'esposizione dei fenomeni della induzione elettro-dinamica compiremo lo studio degli effetti fisici della corrente. Il fatto fondamentale scoperto da Faraday è il seguente. Prendo due spirali piane eguali (*Fig.* 204), che si fanno piegando a spirale sopra una superficie piana un filo di rame coperto di seta, partendo da un punto che diventa il centro della spirale. Perchè il filo rimanga al posto, si copre la superficie piana di cera, oppure si cuce il filo, a mano a mano che si costruisce la spirale, sopra un drappo di seta che si tiene teso. Più facilmente si fanno queste spirali con una lamina metallica coperta di seta, e larga quanto un nastro ordinario.

Una delle due spirali si unisce col suoi capi ai fili d'un galvanometro: i capi dell'altra spirale si attaccano ai poli di una pila alla Wollaston di un certo numero d'elementi, a superficie piuttosto estesa. Fra le due spirali si mette un foglio di carta o una lastra di vetro perchè non nasca dubbio che la corrente della pila fatta passare in una delle spirali passi nell'altra. Nell'istante stesso in cui si chiude il circuito colla pila in una delle spirali, l'ago del galvanometro unito all'altra spirale devia di un certo numero di gradi. Questa deviazione è

dovuta ad una corrente che dicesi d'induzione, e che è diretta in senso inverso di quella della pila. La deviazione è istantanea, e quindi anche la corrente che la produce: infatti l'ago ritorna eddietro, oscilla e si ferma allo zero, non indicando più alcun segno di corrente. Se allora s'interrompe il circuito, nel momento stesso ricompare nell'ago una deviazione che mostra di essere di uno stesso numero di gradi della prima, ma di cui il senso è opposto al primo e per conseguenza lo stesso di quello della corrente della pila.

Si ottiene uno stesso risultato se, tenendo lontane le due spirali, si fa passare per l'una la corrente della pile, e vi si porta rapidamente a contatto, o presso, l'altra spirale riunità al galvanometro: qualunque sia delle due quella che si tien ferma, o sia che si muovano tutte e due l'una contro l'altra, i fenomeni avvengono egualmente, e son sempre compresi in questa legge generale: allorchè un conduttore percorso dall'elettricità comincia ad agire sopra un altro allo stato naturale, vi produce una corrente che è diretta in senso contrario della sua; quando cessa quest'azione, si produce nel conduttore, che è tornato allo stato naturale, una corrente la quale è nello stesso senso di quella del conduttore influente. Non v'è azione sensibile che in questi due istanti.

Qualunque sia la forma dei due fili o conduttori che si avvicinano, siano a spirali cilindriche sovrapposte, a zig-zag tirati sopra una tavola, i fenomeni sono costantemente gli stessi. La disposizione a spirale rende queste azioni maggiori per la maggior lunghezza chè può darsi ai due conduttori fra cui accade l'azione, e perchè favorisce in generale tutte le circostanze per le quali quest'azione si esercita. Se invece di servirsi del galvanometro per scorgere la presenza della corrente *indotta* o *secondaria*, si uniscono i due capi di questa spirale ai due capi di un'altra piccola spirale cilindrica entro cui si metta un ago d'acciaio, si troverà esso calamitato, ed indicherà gli stessi risultati a cui siamo giunti col galvanometro.

In qualunque dei due modi descritti si verifichi la presenza della corrente elettrodinamica, si trova sempre che l'intensità della corrente indotta al cominciare dell'azione, cioè al chiudere del circuito, è più forte di quella che si ha all'aprire del circuito. Mi sono assicurato che questa differenza non si trova più producendo l'induzione a circuito già chiuso, cioè avvicinando e allontanando le due spirali. La corrente indotta che si ha all'aprire del circuito, è minore di quella che si ha al chiudere, perchè la corrente della pila cui è dovuta trovasi indebolita. Vedremo più innanzi come l'intensità della corrente vada sempre diminuendo a misura che continua a star chiuso il circuito.

Qualunque sia il corpo coibente che s'interpone fra le due spirali, non si trova differenza nell'azione induttiva. Ma non è più così se il corpo interposto è scelto fra quelli che conducono bene la corrente elettrica. Una lamina metallica più o meno grossa, indipendentemente dalla distanza alla quale si tengono le due spirali, la indebolisce. Suppongo che si cominci l'esperienza avendo una lamina metallica fra le due spirali: la corrente indotta che se ne ha, è molto più debole di quella che si otterrebbe senza la sua presenza. Mentre il circuito sta chiuso, si toglie la lastra interposta. L'effetto dipende dalla rapidità con cui è tolta la lastra: se si fa assai rapidamente, si ottiene una corrente che è dovuta all'azione induttiva che comincia senza lastra e all'azione induttiva a lamina interposta che cessa. La corrente nondimeno è sempre minore di quella che si avrebbe senza la lamina. Cessando l'azione, la corrente che si ha è in intensità, e nel senso come quella che si otterrebbe se la lamina non fosse mai stata adoperata.

Peltier facendo delle spirali di diversa lunghezze, e della stessa lunghezza ma con maggior grossezza di filo, ha provato che la corrente indotta si scarica per un filo molto luogo, e cresce d'intensità crescendo il numero delle spirali, come crescono nello stesso caso gli effetti della pila col numero delle coppie. Se invece la corrente indotta si scarica per un filo grosso e corto, non cresce la sua intensità al crescere del numero delle spirali, ma bensì al crescere della grossezza del filo, ossia della quantità di materia sopra cui si esercita l'induzione.

Era naturale il supporre che facendo agire una calamita o artificiale o temporaria sopra le spirali, si avessero i fenomeni d'induzione; posciachè una supposizione cosiffatta scendeva come conseguenza dalla teoria d'Ampere. Di questa conseguenza Faraday ha dato le prove con bel numero di sperimenti, i quali formano il compimento della detta teoria.

Alla solita spirale piana unita colle sue estremità ai capi del galvanometro, avvicino rapidamente una verga o un ago calamitato: all'istante l'ago devia di un certo numero di gradi, e m'indica una corrente che è in direzione contraria di quella che si ammette esistere nella teoria d'Ampere in quella estremità della calamita che ho avvicinato alla spirale. Tengo la calamita sopra la spirale, e ogni deviazione cessa poco

dopo: cessata affatto, allontano la calamita dalla spirale, e all'istante il galvanometro devia dello stesso numero di gradi di prima; ma la deviazione è inversa, e m'indica che la corrente che circola nella spirale è in direzione contraria di quella che vi ha circolato quando ho avvicinato la calamita, e che è quindi in questo secondo caso diretta egualmente di quella che esiste nell'ago o cilindro calamitato. Se in luogo di una calamita avessi avvicinato un cilindro elettrodinamico percorso dalla corrente, presentando quella estremità o polo che è dello stesso nome di quello della calamita, avrei ottenuto delle correnti d'induzione al principio e alla fine dell'azione, dirette esattamente nello stesso senso. Queste induzioni prodotte dalle correnti elettriche delle calamite si ottengono meglio colle spirali cilindriche. I poli delle calamite s'introducono nell'interno delle spirali, e il loro effetto si porta contemporaneamente e colla stessa intensità sopra tutti i punti d'ognuno degli elementi circolari che soffrono l'induzione.

Queste stesse correnti d'induzione si possono anche avere coprendo con una spirale di rame (*Fig.* 197) un pezzo di ferro *c* dolce piegato a ferro di cavallo, e legando le due estremità della spirale al galvanometro. Accostati alle due estremità della verga di ferro dolce i due poli di una calamita *a b*, all'istante si ha l'induzione prodotta dalla calamita temporanea. Potrebbe anche farsi una calamita temporanea colla corrente e averne le sua induzione sopra una spirale, coprando di due spirali il pezzo di ferro dolce. Per i due capi di una delle spirali s'introduce la corrente, e così si magnetizza il ferro dolce: per l'altra spirale unita al galvanometro circola la corrente indotta.

Anche la terra produce le correnti d'induzione, come si vede magnetizzando un cilindro di ferro dolce coperto di una spirale, e portandolo rapidamente nella direzione dell'ago inclinatorio. In tutti i casi, le correnti d'induzione sono istantanee, contrarie di direzione nei due momenti in cui si formano, cioè al principio e alla fine dell'azione; sempre la direzione della corrente indotta al cominciare dell'azione è contraria di quella della corrente che produce l'induzione.

Oltre all'azione sull'ago del galvanometro e al potere magnetizzante, le correnti d'induzione godono di tutte le proprietà che abbiamo trovate nella corrente elettrica, e ne producono tutti gli effetti.

La scintilla elettrica è uno dei primi fatti che Faraday abbia scoperto nello studiare le proprietà della corrente d'induzione. Basta di colpire il momento in cui la corrente d'induzione si produce, cioè uno dei due istanti in cui l'azione comincia o quello in cui cessa, e in quel momento interrompere convenientemente il circuito o filo della spirale, per veder brillare una scintilla.

L'apparecchio più comodo è un pezzo di ferro dolce contenuto in una spirale di filo di rame, al solito coperto di seta. I capi di questa spirale ben amalgamati, pescano nel mercurio. L'induzione si sviluppa ogni volta che con una calamita si toccano le estremità del ferro dolce (*Fig.* 197). Ma convien sollevare dal mercurio uno dei fili nel momento medesimo in cui la calamita tocca l'ancora o il pezzo di ferro dolce, o quando si cessa. La quale istantaneità di atto non sempre riuscendo colla mano, i Signori Nobili ed Antinori immaginarono un artifizio per operare questa interruzione del circuito nel punto stesso in cui cessava l'azione della calamita. Con una macchina che abbia quest'artifizio, giunsero quei Fisici ad ottenere costantemente il fenomeno della scintilla d'induzione. È egualmente possibile di avere ad ogni attacco o distacco della calamita dall'ancora vestita della spirale, una forte scossa nelle braccia, tenendo i due capi della spirale colle mani. Vedremo più innanzi che questo mezzo di comunicare la corrente agli animali può essere utilmente applicato. Si sono imaginati diversi apparecchi valevoli a rendere continui gli effetti dell'induzione elettromagnetica.

La prima macchina elettro-magnetica a rotazione con cui si sono ottenuti degli effetti continui, fu immaginata da Pixii. In questa (*Fig.* 182) una calamita artificiale A C D B composta di diverse lamine disposte a ferro di cavallo, è mobile intorno ad un asse verticale X Y. Il movimento di rotazione è impresso da una manovella e da un conveniente meccanismo di rote. Al disopra della calamita v'è un'ancora di ferro dolce EGHF, che è pure disposta a ferro di cavallo, e posta in modo che le basi E ed F passino assai vicine alle estremità A e B della calamita. Un filo di rame coperto di seta, e avente in P e Q le sue estremità, è volto a spirale intorno alle branche verticali del ferro dolce con molte migliaia di giri. Facendo rotare la calamita, il ferro dolce si magnetizza ad ogni contatto con lei, poi si magnetizza in senso contrario. Tutto questo accade ad ogni mezza rivoluzione della calamita. Il massimo del magnetismo si ha quando le due estremità della calamita sono immediatamente al disotto delle due estremità o basi dell'ancora; e diviene nullo quando la posizione della calamita è perpendicolare a quella dell'ancora; torna

massimo, ma inverso, finita una mezza rivoluzione. Il magnetismo del ferro dolce oscilla così fra due massimi, per i quali la sua polarità è inversa. La corrente indotta che nel filo ravvolto all'ancora è mantenuta da questo continuo movimento, deve cangiare di direzione ad ogni mezza rivoluzione della calamita, o cioè ad ogni passaggio dei poli della calamita sotto le basi dell'ancora. E questo effettivamente si vede, se i due capi della spirale sono uniti al galvanometro. È poi facile con quest'apparecchio, e facendo rotare la calamita, avere una serie continua di scintille fra le due estremità della spirale che sono tenute vicine, ed anche una continuazione di scosse tenendo i due capi della spirale colle mani, le quali si ha cura di inumidire, per meglio stabilire le comunicazioni. Se questi due capi della spirale sono di platino, e messili a pescare nell'acqua acidulata con acido solforico si fa nel tempo stesso rotare la calamita, l'acqua è scomposta, ed appaiono delle bolle di gas sui due fili di platino; i quali gas raccolti ed esaminati, si trovano composti di un miscuglio di gas ossigene e d'idrogene, che sono i componenti dell'acqua.

Un tale apparecchio ci mette in grado di avere dall'induzione elettro-magnetica una corrente indotta continua e sempre diretta nello stesso senso: e basta perciò far ruotare la calamita, e disporre l'apparecchio in modo che una sola delle correnti d'induzione circoli, cioè di raccogliere la corrente indotta che si sviluppa ad ogni rivoluzione intera. All'apparecchio può darsi eziandio una tale disposizione, per cui nel circuito unito ai capi della spirale, la corrente indotta che è sviluppata inversa ad ogni mezza rivoluzione, entri in questo circuito sempre diretta nello stesso senso. La quale ultima disposizione fu pure realizzata dal Sig. Pixll, e vedesi nella *Fig.* 193. Una specie d'altalena (*bascule*) di legno ha quattro archetti metallici all'estremità di due leve doppie, e un'eccentrico mobile nell'asse di rotazione la fa successivamente pendere ora in un senso or nell'altro ad ogni mezza rivoluzione. Gli archetti metallici toccano successivamente le estremità diverse di un sistema di due piccole strisce di rame incrociate, isolate l'una dall'altra, P P' e Q Q', e di due altre parallele R R' e S S'. Tutte queste laminette sono ben amalgamate alle estremità, come lo sono pure le estremità degli archetti dell'altalena, affinchè i contatti sieno perfettamente stabiliti. Alle quattro strisce di rame sono attaccati da una parte i capi P e Q della spirale (*Fig.* 182), e dall'altra i due capi del circuito per cui si vuole che la corrente passi sempre nella stessa direzione. Riunendo questi capi a quelli di un galvanometro e facendo rotare la macchina, l'ago devia costantemente in un senso. Anche l'acqua è scomposta, e in questo caso i due gas, ossigene e idrogene, non si sviluppano più mescolati, ma bensì separati ad ognuna delle estremità immerse. In questo stesso modo agisce chimicamente la corrente elettrica della pila, come vedremo fra breve.

Un apparecchio di moderna costruzione e più semplice di quello descritto è la macchina elettro-magnetica di Clark. Eccone in breve la descrizione. A (*Fig.* 198) rappresenta una serie di sei verghe d'acciaio calamitato, piegate a ferro di cavallo, disposte verticalmente e fisse con quattro viti alla tavola d'appoggio B. C è un ritegno metallico che ferma la calamita contro la tavola: K e D sono due cilindri di ferro dolce, circondati dalla spirale di rame per fare una calamita temporaria come nella *Fig.* 197. Queste due verghe di ferro dolce coperte dalla spirale sono riunite insieme dal pezzo di rame KD nel cui mezzo passa un asse, ed è per via di quest'asse e della ruota E che si fa girare la calamita temporaria intorno ai poli della calamita A. I due capi della spirale sono disposti in modo da aver la scintilla ad ogni rivoluzione. Si può avere la scomposizione dell'acqua, e si ha anche la scossa, aggiungendo i due pezzi R ed S che sono due cilindri di ottone che si stringono colle mani umide e che comunicano coi capi della spirale. V'è un meccanismo per render continua la corrente.

L'azione reciproca fra le calamite e tutti i corpi conduttori allorchè sono in movimento, diviene un corollario dei fenomeni d'induzione elettro-dinamica trovati da Faraday. La scoperta di quest'azione è dovuta al genio d'Arago, il quale osservando le oscillazioni di un ago calamitato contenuto in una scatola di rame, fu sorpreso di vedere che il numero delle oscillazioni che faceva, diminuiva assai rapidamente d'ampiezza benchè fossero tutte di una stessa durata. Per quanta cura si avesse a render mobile l'ago, tuttavia era ben tosto meno ampio il suo oscillare, e cessava presto, adoperando lo stesso ago fuori della scatola di rame, le sue oscillazioni si conservavano così ampie e in tanto numero, quanto poteva aspettarsi dalle osservazioni fatte in casi simili. Postosi adunque Arago a cercare la causa di questo fenomeno, fece oscillare successivamente sopra diversi dischi di rame più o meno grossi uno stesso ago calamitato, e vide che l'ampiezza delle oscillazioni diminuiva tanto più rapidamente, quanto più il disco era grosso. Herschel e

Babbage ripeterono poscia questa osservazione adoperando piatti d'altri metalli, e stabilirono che quest'azione sopra l'ago variava nei metalli nell'ordine seguente, prendendo per unità l'azione del rame.

Rame	1,00	Zinco	0,03
Stagno	0,46	Antimonio	0,09
Piombo	0,25	Bismuto	0,02

Poichè il rame ed i metalli non agivano in alcun modo sull'ago calamitato allorchè era in riposo, bisognava concludere che la causa di quest'azione, scoperta fra l'ago oscillante e il piatto metallico, risiedeva nel movimento del disco. Arago adunque da questa considerazione venne portato a pensare che se l'ago fosse in riposo e il piatto metallico in movimento, l'azione vi sarebbe ancora, e l'ago sarebbe deviato dalla sua posizione. L'esperienza confermò il suo prevedere, e il risultato fu anche più grande di quello che non s'era previsto. L'apparecchio adoperato da Arago consiste, come vedete nella *Fig.* 196, in un disco di rame $x\ h$ montato sopra un asse verticale, al quale per un meccanismo d'orologio può comunicarsi un movimento di rotazione. Una lastra di vetro $p\ p'$ è sostenuta sopra il piatto di rame, e sopra questa lastra posa una campana di vetro $c\ c'$. Un ago calamitato $t\ t$ è sospeso nell'interno della campana: il filo $f\ t$ cui è sospeso e il mezzo dell'ago cadono sopra il centro del piatto. Si fa scendere l'ago più vicino che si può alla lamina di vetro e quindi al piatto. La lamina di vetro non ha altro oggetto che di non far sentire all'ago la corrente d'aria messa in moto dalla rotazione del disco. Appena il disco comincia a rotare, vedete l'ago deviare dal meridiano magnetico, e deviare tanto più, quanto più la rotazione si fa rapidamente. Se fo rotare il disco in senso opposto, la deviazione accade in senso contrario di prima. Aumentando molto la rotazione del disco, la deviazione giunge presto a 90°: a questo punto l'ago comincia a rotare nel senso stesso del piatto. Se si cessa, e si rota in senso opposto, l'ago rota in senso opposto di prima e sempre insieme al disco. Questi fenomeni sarebbero assai più difficili a prodursi se il disco fosse tagliato lungo i suoi raggi, se vi fossero soluzioni di continuità. Riunendo però questi tagli o con limature metalliche, o con saldatura, o con fili, l'azione del disco rotante si riproduce come quando era intatto. Arago che scoprì questi fatti nell'anno 1825, li analizzò compiutamente; e per le sue indagini fu stabilito, che la forza del disco rotante sull'ago era la risultante di tre componenti. La prima di esse è perpendicolare ai raggi del disco, ed è quella che produce la deviazione e la rotazione all'ago. La seconda è perpendicolare al piano del disco, e se ne può verificare l'esistenza per mezzo d'un ago verticale sospeso ad uno dei bracci d'una bilancia molto sensibile: il qual ago è sempre respinto, qualunque sia il polo che s'accosta al disco. La terza componente agisce nel senso dei raggi del disco. Si colloca un ago d'inclinazione in modo che il suo piano di rotazione sia perpendicolare al meridiano magnetico, e passi per il centro del disco. Facendo girare quest'ago che sta verticale, e tenendolo sempre col suo piano sopra uno stesso raggio, si trova che quando la punta cade immediatamente fuori del disco è respinta dal centro di rotazione: e venendo allora coll'ago verso il centro, questa forza ripulsiva diminuisce a misura che vi si avvicina di più. Così ad una certa distanza la forza ripulsiva è nulla: ad una distanza dal centro; minore di questa in cui la forza ripulsiva è nulla, l'ago è attratto verso il centro: al centro stesso non v'è più nè attrazione nè ripulsione. Sopra ogni raggio del disco si trova questa distribuzione di forze: v'è per ogni raggio un punto fra il centro e la circonferenza, per cui è nulla la forza componente della quale si tratta. Al di là di questo punto è ripulsiva; più presso al centro è attrattiva.

Herschel e Babbage scoprirono che il disco in rotazione non aveva nessuna azione sopra un disco metallico qualunque per metterlo in movimento: videro ancora che l'azione del disco rotante sopra l'ago era assai indebolita da una lamina di ferro interposta.

Le scoperte di Faraday hanno assai rischiarate quelle d'Arago sul magnetismo di movimento. Ricordatevi l'esperienza fatta or ora: per la quale vedeste che accostando una spirale alla calamita vi si produce una corrente; allontanandola, v'è un'altra corrente che va in direzione contraria della prima. Se in luogo d'una spirale di rame si accosta la calamita ad un disco metallico, o se questo si avvicina a quel'a e poi se ne allontana, vi saranno nel primo e nel secondo istante correnti prodotte. Sulle parti del disco che si allontanano dai poli, le correnti saranno *dirette*, cioè in modo da poter comunicare alla calamita il polo che ha: invece le parti del disco che si avvicinano ai poli hanno le correnti *inverse*, dirette cioè in senso contrario di quelle formate nelle parti che si allontanano dai poli. Tutte queste correnti, una volta stabilite, devono reagire sopra l'ago calamitato e sopra i poli colle leggi conosciute. Cercheremo di scoprire la posizione definitiva che prendono le correnti sul disco rotante;

vedremo che i due generi di correnti, che abbiamo detto doversi produrre, si mettono d'accordo per conservare fissa la posizione relativa della calamita e del disco, malgrado della sua rotazione: da ciò viene il fenomeno o della rotazione dell'ago insieme al disco, o della diminuzione d'ampiezza nella oscillazione dell'ago sottoposto al disco. Eccovi in breve come può analizzarsi questa azione della calamita sul disco rotante. Nella *Figura* 193 si vede il disco rotante. A B è una calamita orizzontale mobile sopra un pernio, e posta sopra il disco a poca distanza; *m n* è l'elemento di una corrente in un punto qualunque del disco che fugge il polo australe A; *p q* è l'elemento della corrente nel punto che si avvicina a questo polo. La prima corrente *m n* essendo diretta e la corrente *p q* inversa, il polo A dev'essere alla sinistra della prima, e alla destra dell'altra; da che segue che queste due correnti tendono ambedue a muoversi dal centro alla circonferenza nel senso supposto al movimento del disco. L'azione dell'elemento *m n* sopra il polo A si riduce ad una forza applicata a questo polo, normalmente al piano *m n* A, e diretta in modo che il polo A tende verso la sinistra della corrente *m n*. Questa forza s'innalza dunque al disopra del piano *mn* A, e per conseguenza verso *m n* a modo, che la sua componente orizzontale è diretta nel senso della rotazione del disco. L'azione dell'elemento *p q* è pure applicata in A, normalmente al piano *p q* A, e diretta in modo, che il polo A tende verso la sinistra della corrente *pq*: perciò questa nuova forza si abbassa, tende al disotto del piano *pq* A, e s'inclina ancora verso *m n* a modo, che la sua componente orizzontale seguita ad agire nel senso della rotazione del disco.

Deesi da ciò concludere che l'azione delle correnti che abbiamo chiamate dirette, e che si formano sulle parti che si allontanano dai poli, sono attrattive; e ripulsive quelle delle correnti inverse: a poichè le prime nascono all'allontanarsi del polo influente e le altre all'avvicinarsi, ne viene che nel movimento relativo dell'ago calamitato e del disco, le parti del disco che si allontanano dai poli o da cui i poli si allontanano, tendono a trasportarli o a ritenerli, ad attrarli, in una parola; e che al contrario tendono a rispingerli, le parti che si avvicinano ai poli o alle quali si avvicinano i poli. Così dalla reazione dell'ago sul disco si sviluppa una specie di forza ritardatrice la quale produce l'effetto che produrrebbe un attrito maggiore, una più grande resistenza che fosse nel mezzo in cui l'ago oscilla. È facile di ripetere queste considerazioni per l'altro polo; e si troverà che le correnti prodotte dal polo boreale, dirette dalla circonferenza al centro nel movimento supposto, reagiscono per far rotare l'ago nello stesso senso in cui io faccio rotare le correnti sviluppate dall'altro polo. Egli è inutile avvertire, che invertendo la rotazione del disco anche l'ago deve invertirsi nel suo movimento. Questi principî ci mettono nella via d'intendere i principali fatti del magnetismo di rotazione: soggetto che è stato trattato in modo compiuto dai signori Nobili ed Antinori.

Non ho che ad adoperare una calamita piuttosto forte per provarvi facilmente la formazione delle correnti sul disco rotante. Se fo rotare il disco di rame [*Fig.* 194], fra i due poli A B di una forte calamita a ferro di cavallo, tenendo in *a* e *b* applicati i due estremi del galvanometro, m'accorgo presto che nel disco si formano delle correnti dirette dal centro alla circonferenza o inversamente, secondo il senso della rotazione: queste correnti si formano nello stesso senso applicando il filo *a* del galvanometro avanti o prima che il disco, secondo il senso del suo movimento, passi fra i poli. L'esperienza si fa amalgamando il disco e amalgamando pure le estremità o capi del galvanometro. Variando l'esperimento, applicando in diversi punti gli scandagli galvanometrici, si riesce a stabilire sperimentalmente tutti gli elementi necessari a dare la teoria compiuta dei fenomeni scoperti da Arago. Sperimentando nel modo che vedete, cioè tenendo il disco fra i due poli della calamita a ferro di cavallo, si formano sulle due facce del disco rotante delle correnti parallele, dirette dal centro alla circonferenza o inversamente, secondo il senso in cui si fa la rotazione. Nell'apparecchio d'Arago le influenze dei poli fanno nascere delle correnti opposte sulle due metà del disco, cioè delle correnti che tendono verso il centro presso il polo australe, e dalle correnti che si dirigono alla circonferenza presso il polo boreale. Nobili ed Antinori hanno stabilito, per mezzo di sperimento, l'esistenza di queste correnti così dirette.

Anche il magnetismo, o le correnti della terra, producono azioni analoghe a quelle delle calamite sui dischi rotanti. Si trovano infatti delle correnti sviluppate sul disco che rota in piani più o meno inclinati al meridiano magnetico.

Aggiungerò ancora che se si adoprano i cilindri elettro-dinamici percorsi dalle correnti, in luogo delle calamite, si sviluppano sul disco effetti simili. In somma, dopo ciò che abbiam detto, non v'è fenomeno delle calamite che non debba prodursi anche dai cilindri elettro-dinamici.

Vi darò per ultimo a conoscere come que-

sti fenomeni del magnetismo di movimento scoperti da Arago, e oggi riconosciuti per effetti d'induzione, si sieno veduti da Barlow in un caso particolare, che merita d'esser citato. Barlow fa rotare una bomba di ferro di 8 pollici di diametro con una velocità di 720 giri per secondo: avvicina nello stesso tempo un ago calamitato reso astatico ai diversi punti della bomba rotante. In tutte le direzioni dell'asse di rotazione, in tutti gli azzimutti, l'estremità nord dell'ago è attratta se la bomba ruota verso l'ago, ed è respinta nel caso contrario. Il massimo effetto ha luogo all'equatore, il minimo ai poli di rotazione.

Questi fenomeni sono senza dubbio il risultato dell'azione induttiva del magnetismo o delle correnti elettriche della terra.

Faraday ha verificata l'esistenza di queste correnti sopra un disco che ruota intorno ad una linea perpendicolare al suo piano, alla linea d'inclinazione e al meridiano magnetico.

In un globo rotante le correnti si sviluppano egualmente, e sono dirette secondo i meridiani: queste correnti sono sempre perpendicolari alla direzione del movimento.

E qui mi è duopo chiamare la vostra attenzione sopra una conseguenza generale, che si deduce necessariamente da tutti i fatti dell'induzione elettro-dinamica che vi ho esposto, ed è che non si può concepire un movimento qualunque in un corpo conduttore senza che vi si sviluppino correnti elettriche o per l'influenza dei corpi calamitati che ci circondano, o per l'influenza del magnetismo terrestre.

Non si tratta che di aver dei galvanometri molto delicati, per assicurarsi che il semplice spostamento di un filo metallico unito ai capi del filo galvanometrico, basta a svegliarvi una corrente.

Un altro fenomeno dipendente da quelli d'induzione che abbiamo studiato, è l'aumento prodotto nella scintilla, che si ha chiudendo o interrompendo il circuito di una pila, secondo la forma e la lunghezza del circuito. Abbiamo visto che se si chiude il circuito di una sola coppia non molto estesa, appena si ha scintilla: un po' più sensibile è il fenomeno allorchè il circuito s'interrompe dopo averlo lasciato chiuso per qualche istante. Ma è ben curioso a vedersi che agendo colla stessa pila, la scintilla diviene infinitamente più grande all'interrompersi del circuito, se in questo stesso circuito s'introduce un lungo filo di rame piegato a spirale; e che l'effetto è anche maggiore se la spirale adoperata contiene un cilindro di ferro dolce nell'interno, a modo da divenire calamita temporaria mentre la corrente vi passa. Nel tempo che la scintilla all'interrompersi del circuito è così accresciuta dall'aggiunta della spirale, lo è egualmente la commozione che se ne prova nello stesso istante tenendo colle mani inumidite i due capi di una interruzione qualunque del circuito.

Questo fatto, scoperto da Jenkins, è stato analizzato e studiato da Faraday. Adoperando un tal circuito con spirale e calamita temporaria, il Cav. Antinori ha potuto trarre la scintilla dalla corrente termo-elettrica; e un apparecchio costruito sopra questi stessi principi ha servito ad ottenere per la prima volta la scintilla nella scarica della torpedine.

Allorchè si considera che questi fenomeni si ottengono introducendo nel circuito un filo piegato a spirale, e meglio una spirale col ferro dolce nell'interno, mentre mancano adoperando un filo egualmente lungo non piegato a spirale, è impossibile di non attribuirli a correnti d'induzione che si producono nello stesso conduttore in cui passa la corrente della pila. Nel primo istante in cui si chiude il circuito la corrente indotta è nel senso opposto della corrente principale, e si forma nel filo stesso perchè manca un altro conduttore o circuito prossimo su cui possa formarsi. Difatti se si compone una spirale con due fili volgendoli sopra un cilindro di cartone, si trova che facendo passare una corrente in uno dei fili, mentre le estremità dell'altro filo sono unite a modo da formare un circuito chiuso, non si ha aumento nè di scintilla nè di commozione facendo cessare la corrente: invece si ha questo aumento, quando lasciando aperto il circuito secondario, ossia non riunendo le due estremità dell'altro filo, si fa passare la stessa corrente di prima per l'altra spirale. In questo secondo caso la corrente d'induzione non può formarsi sul circuito prossimo, e si forma perciò sopra lo stesso suo circuito. Faraday ha provato a chiudere il circuito di una pila con un lungo filo ripiegandolo in due parti eguali, e tenendole prossime e parallele. In questo modo mancava la scintilla, che egli aveva all'aprire del circuito quando il filo era tenuto disteso. Faraday attribuisce questa differenza al distruggersi delle induzioni reciproche delle due parti del filo. E quanto all'effetto maggiore che si ha all'aprire del circuito, ei lo spiega dicendo che in questo caso la corrente d'induzione è diretta, come già abbiamo visto, nell'istesso senso della corrente primitiva o inducente: e soggiunge mancar l'effetto al chiudere del circuito, perchè in quest'istante la corrente indotta è inversa dalla corrente primitiva.

Resta a far parola intorno alla induzione della scarica della bottiglia. Questa induzione, che chiamerò d'ora innanzi elettrostatica, si osserva assai bene colle solite spirali piane (*Fig.* 204). Si posa una spirale piana sopra un'altra, i due capi della quale sono uniti ai capi del galvanometro: si frappone fra le due spirali una lamina sottile di vetro perchè non vi sia scarica diretta attraverso alle due spirali, e si fa passare la scarica di una batteria per il filo della prima spirale. Uno de' suoi capi comunica coll'armatura esterna, e l'altro legato allo scaricatore si porta all'armatura interna. Nell'atto della scarica si ha nell'ago una deviazione sensibilissima, che è di 15° a 20° con nove boccie di media grandezza, cariche a 20° dell'elettroscopio quadrante e col galvanometro delle correnti termo-elettriche. Ognuna delle spirali è fatta di circa 22 metri di filo di rame di mezzo millimetro di diametro. La corrente indotta che si ottiene in questo caso, è *diretta nello stesso senso della scarica della batteria*. Se invece di riunire i capi della spirale indotta ai capi del galvanometro si tengono a poca distanza, si ha una brillante scintilla d'induzione nell'atto della scarica. Questa scintilla è tanto grande, anche con una sola bottiglia e poco carica, da fare il foro nella carta. Laonde io mi sono valso di questo effetto per riconoscere il senso della corrente o scarica indotta; e così ho sempre trovato che quando il circuito secondario è interrotto a modo da averne scintilla, la posizione del foro fatto da questa nella carta traversata, indica che la scarica o *corrente indotta è diretta in senso contrario della scarica inducente della bottiglia*. Aggiungendo altre spirali ho fatto in modo che la corrente indotta nella prima spirale dalla scarica, circolando in un'altra spirale, possa agire sopra una terza spirale e svilupparvi una corrente indotta, che diviene così indotta d'indotta. Ho con altre copple di spirali simili ripetute queste disposizioni sino ad avere una terza e una quarta induzione (*Fig.* 204). Gli effetti sull' ago del galvanometro, benchè minori di quelli della prima induzione, rimangono tuttavia ben marcati: interrompendo i circuiti, le scintille delle correnti di seconda, terza, e quarta induzione son forti, e ancora capaci di forare la carta. Ecco la legge generale di queste induzioni: *allorchè il circuito inducente e l'indotto sono tutti due chiusi, la corrente indotta è inversa dell'inducente; ed è egualmente inversa, se ambidue sono operti a modo da avere scintilla in tutti due. Se poi uno dei circuiti, qual che sia, indotto o inducente, è chiuso, e l'altro interrotto a modo da avere scintilla, la corrente indotta è diretta nello stesso senso della corrente inducente*. È inutile che io vi ripeta che stabilisco la direzione della corrente nel caso del circuito interrotto per mezzo della posizione del foro che fa la scintilla nella carta, rispetto alle due punte o estremità dell'interruzione: ricordatevi che il foro si fa costantemente sulla punta che comunica coll'armatura esterna o negativa. Se il circuito è chiuso, la direzione è indicata dalla deviazione del galvanometro.

Tenendo colle mani i due capi della spirale indotta, provo nell'atto della scarica una forte commozione.

Quando chiudo questa spirale con una piccola spirale cilindrica entro cui introduco un ago d'acciaio o un filo di ferro dolce, l'uno è magnetizzato permanentemente, e l'altro lo è pel tempo che passa la corrente.

Infine se interpongo fra le due spirali una lamina metallica alquanto grossa, s'indeboliscono assai, e cessano affatto i segni dell'induzione elettro-statica. È nulla invece l'influenza di una lamina coibente interposta.

LEZIONI LXII, LXIII e LXIV.

Effetti chimici generali della corrente elettrica — Leggi dell' azione chimica della corrente — Teoria dell' azione chimica della corrente — Teoria elettro-chimica dell' affinità — Pile secondarie. — Metallo-cromia del Nobili — Galvano-doratura — Galvano-plastica.

Vi è già fin qui più volte avvenuto di osservare che il passaggio della corrente era accompagnato dalla decomposizione dei corpi liquidi attraversati; e più volte vi ho lo avvertita l'importanza di cotesto fenomeno. È tempo adunque che ve lo esponga con tutta l'estensione, che ve ne dia le leggi, che ve ne mostri le applicazioni. La decomposizione dell'acqua prodotta dalla corrente, è il primo fatto conosciuto di questo genere. È un apparecchio assai semplice quello che serve a stabilire la legge con cui si opera la decomposizione di questo corpo per mezzo della corrente. Prendete (*Fig.* 128) un bicchiere, e alle sue pareti fissate con ceralacca due fili di platino P ed N: tutta la superficie di questi fili dev'esser coperta di ceralacca, meno che alle loro estremità che

s'innalzano verticalmente nell'interno del recipiente. S'empie d'acqua il bicchiere, non che due campanine o cilindri di cristallo che s'introducono così pieni sotto l'acqua del bicchiere, come abbiamo visto farsi quando si vogliono raccogliere i gas nella vasca idro-pneumatica. Si dispongono le campanine in modo, che in ognuna si trovi uno dei fili o estremità di platino. Ciò fatto, si riuniscono i due fili P ed N ai poli d'una pila d'un certo numero di coppie, ed all'istante si vede un torrente di gas sollevarsi dalle due estremità metalliche: appena la corrente cessa, cessa lo sviluppo dei gas. Quest'apparecchio dicesi *Voltaimetro*. Un voltaimetro d'un'altra forma è quello che vi descrissi nella [*Fig.* 131]. Le due lamine o fili uniti ai poli della pila sono contenuti nel vaso esattamente pieno d'acqua. I gas che si sviluppano, spostano un volume di liquido eguale al loro, e si conosce questo volume dal numero dei centimetri cubici che va ad occupare nella campana *c*. Le due campanine dell'apparecchio [*Fig.*128] sono pure gradnate. Si possono metter di seguito molti di questi voltaimetri, si può separare, come già si è visto, una massa liquida in diversi compartimenti con lamine metalliche [*Fig.* 144 a 136]: per tutto ova è superficie metallica a contatto del liquido, il gas si sviluppa pel passaggio della corrente. Senza cangiare la pila, nè nel numero delle coppie, nè nel liquido interposto, l'aziona chimica misurata dalla quantità dei gas prodotti in un dato tempo, cresce grandemente aggiungendo all'acqua l'acido solforico, fosforico, sali, ec. Se si esaminano i due gas raccolti separatamente alle due estremità metalliche nel voltaimetro [*Fig.* 128], si trova costantemente che il gas sviluppato a quell'estremità che comunica col polo positivo [+] della pila è gas ossigene puro, e che il gas svolto sull'estremità che comunica col polo negativo [—] è gas idrogene puro. E dove pure siano posti di seguito molti voltaimetri, e il liquido sia diviso in compartimenti da lamine metalliche sempre si trova che il gas sviluppato sulla superficie metallica da cui la corrente esce nel liquido è gas ossigene, e che è idrogene quello sviluppato sulla superficie metallica in cui entra la corrente dal liquido. Le quantità dei gas, idrogene e ossigene, svolte sulle due estremità metalliche che pescano nello stesso liquido, sono costantemente tali da potersi interamente ricombinare per formare acqua. Così si trova sempre per *due volumi* d'idrogene, *un volume* d'ossigene.

Le combinazioni dell'ossigene e dei metalli, gli ossidi metallici, si lasciano decomporre dalla corrente. In generale non è che allo stato liquido che la decomposizione elettro-chimica si opera. L'ossido di piombo, l'ossido di bismuto che non vengono decomposti dalla corrente allo stato solido, lo vengono bene allorchè sono fusi. Da questi due ossidi si hanno alle due estremità metalliche, che chiamerò d'ora innanzi *elettrodi* o *poli*, il metallo [piombo o bismuto] al polo negativo, e l'ossigene al polo positivo. Le quantità dei due corpi, ossigene e metallo, che si separano, sono sempre tali che possono ricombinarsi per rifare la quantità dell'ossido che è stata decomposta.

Molti ossidi solubili nell'acqua si lasciano scomporre, allorchè la corrente è trasmessa nella loro soluzione: i prodotti della loro decomposizione anche in questo caso sono soggetti alle stesse leggi della decomposizione che soffrono allorchè sono fusi: se non che, e lo vedremo bene più innanzi, essi vengono modificati dall'azione elettro-chimica che soffre l'acqua, e dalla affinità chimica che v'è fra i prodotti degli ossidi scomposti e l'acqua, ne i suoi componenti.

Le famose scoperte di Davy muovono tutte dall'azione elettro-chimica della corrente. Questo celebre Fisico agendo con una pila molto forte, trovò composte le terre e gli alcali, creduti sino a quel tempo corpi semplici. La potassa, la soda, la barite, la calce ec. non sono più oggi che combinazioni di ossigene, di potassio, sodio, bario, calcio ec., in una parola sono ossidi metallici. Vediamo la decomposizione della potassa. Eccovi un pezzo di potassa solida nella quale ho fatto una piccola cavità: poso la potassa sopra una lamina di platino che comunica col polo positivo di questa pila a 200 coppie, e nella piccola cavità della potassa metto una goccia di mercurio. Introduco nel mercurio il polo negativo della pila. Dopo pochi minuti vedete il mercurio, da liquido che è naturalmente, farsi meno liquido e prendere l'aspetto di un'amalgama. Se, cessata la corrente, lascio questa amalgama a sè, si copre d'una pellicola bianca che è di potassa. Se getto l'amalgama nell'acqua, veggo dopo non molto il mercurio ritornar liquido, svilupparsi delle bolle di gas idrogene, e l'acqua divenire carica di potassa. Se poi invece di toccare il mercurio col polo negativo tocco la potassa, vedete ad ogni contatto scoccare scintille brillantissime, assai più vive di quelle che si hanno toccando insieme i due poli. Tutti questi effetti sono dovuti alla presenza del potassio che si separa al polo negativo, che si amalgama al mercurio, e che è un metallo di cui è fortissima l'affinità per l'ossigene dell'acqua. Si ossida il metallo all'aria convertendosi in potassa, e gettato nell'acqua la scom-

pone; ed è tanta l'azione chimica, che accende l'idrogene che è sviluppato: ecco perchè vedete il potassio correre sull'acqua accompagnato dalla fiamma del gas idrogene.

Le combinazioni dell'idrogene col cloro, iodio, bromo, cioè gli acidi idroclorico, idroiodico, idro-bromico sono pure scomposti dalla corrente elettrica. Il cloro, l'iodio e il bromo si sviluppano all'estremità positiva, a quella a cui abbiamo visto svilupparsi l'ossigene; l'idrogene va costantemente al polo negativo. Anche in tal caso, essendo questi acidi combinati all'acqua, convien considerare l'influenza della medesima nei prodotti che se ne hanno: vedremo più innanzi qual sia questa influenza.

Le combinazioni del cloro, iodio, bromo coi metalli, se sono insolubili nell'acqua, si decompongono colla corrente allorchè sono fusi. Faraday ha scoperto che il cloruro di argento e quello di piombo, l'ioduro di stagno e quello di piombo, se sono fusi, sono scomposti dalla corrente. Il cloro, iodio, bromo, si svolgono al polo positivo, il metallo con cui sono combinati si sviluppa al polo negativo. Molte combinazioni però analoghe a queste, come sono i solfuri metallici, benchè fusi, non si lasciano scomporre. Ciò avviene perchè in queste combinazioni e nei suoi elementi v'è difetto di conducibilità. Ve ne sono altre analoghe che sono solubili nell'acqua, e la decomposizione ha luogo nelle soluzioni acquose. L'ioduro di potassio sciolto nell' acqua si scompone alla più debole corrente: si vede l'iodio tingere in giallo il polo positivo, e al polo negativo comparisce il gas idrogene, che è dovuto, in questo caso, all'azione chimica del potassio separato dalla corrente sopra l'acqua. Appena il potassio è liberato dalla combinazione coll'iodio, il che accade all'electrode negativo, egli scompone l'acqua, al converte in potassa prendendone l'ossigene, e si sviluppa il gas idrogene che rimane libero.

In generale può dirsi che anche per tutte le scomposizioni che abbiamo descritte, le quantità dei prodotti che si ottengono ai due electrodi, sono sempre tali da potersi ricomporre per riprodurre esattamente la quantità della combinazione che è stata scomposta.

In molti altri casi però si ottengono sugli electrodi tali prodotti, che non rappresentano nè colle loro quantità, nè colla loro natura le combinazioni dalla corrente attraversate e scomposte. Ond'è che distinguiamo i *prodotti primitivi* dell'azione elettro-chimica della corrente, dai *prodotti secondari*. Più innanzi vi sarà insegnato come distinguerli con tutta precisione.

Facciamo parola dell'azione chimica della corrente sulle combinazioni saline. Si sa che i sali risultano dalla combinazione di due altre combinazioni binarie, perciocchè nel maggior numero dei casi i sali sono fatti di un acido, cioè della combinazione dell'ossigene e di un corpo, zolfo, cloro, fosforo ec. con un ossido che è fatto dall'unione di un metallo coll'ossigene: in somma i sali sono una combinazione di due composti che hanno comune l'ossigene. Qualche volta questo elemento comune è lo zolfo, come nel caso dei doppi solfuri, che son pure sali, qualche volta è il cloro nei cloruri doppi, l'iodio negli ioduri doppi ec.

Anche rispetto ai sali vi distinguerò l'azione della corrente secondochè sono o fusi, o sciolti nell'acqua. Eccovi dell'acetato di piombo che fondo in una capsula: allorchè è ben fuso nella sua acqua di cristallizzazione, introduco gli electrodi di platino, e veggo all'istante comparire al polo negativo il piombo in belle foglie che hanno qua e là lo splendore metallico, e all'altro polo svolgersi del gas ossigene. L'acetato di piombo dopo aver perduto l'acqua di cristallizzazione si fa solido, e seguitando a riscaldare si fonde di nuovo: questa seconda fusione dicesi ignea, perchè il sale ha perduto affatto la sua acqua. Il passaggio della corrente nell'acetato così fuso, dà luogo agli stessi prodotti di prima: eguale risultato si ha col nitrato d'argento fuso, posciachè l'argento si separa al polo negativo. Se sciolgo questi sali nell'acqua veggo il metallo comparire come prima al polo negativo, e l'ossigene svilupparsi al polo positivo. Posso però in queste soluzioni più facilmente determinare i prodotti del polo positivo, essendochè oltre al gas ossigene separato a questo polo, vi si separa insieme l'acido: e basta tingere colla tintura bleu di tornasole la soluzione salina, perchè veggiate all'istante il liquido farsi rosso presso il polo positivo. Il quale effetto ha origine dall'acido separato insieme all'ossigene. A fine di ricogliere meglio questi prodotti e mantenerli separati, si può dividere il liquido con un pezzo di vescica in due compartimenti. Si trova così che la soluzione del compartimento in cui è il polo positivo si carica dell'acido che entra nel sale e che forma la combinazione coll'ossido metallico scomposto dalla corrente. Vi sono anche dei sali, il cui acido è insolubile nell'acqua; e sono questi i benzoati. Adoperando una soluzione di benzoato di zinco, di potassa, di calce, si vede l'ossigene svilupparsi insieme all'acido benzoico solido, e cristallizzato al polo positivo: all'altro polo si raccoglie il metallo. Agendo sopra le soluzioni dei ben-

zoati nell'acqua, ho stabilito che i sali sono sempre scomposti in modo che l'acido e l'ossigene dell'ossido vanno al polo positivo, e il metallo va al polo negativo; la quantità di questi prodotti sono tali che possono di nuovo combinarsi interamente insieme, a per conseguenza rappresentano esattamente la quantità di sale che fu scomposta.

Da queste esperienze si può con ragione dedurre, che avendosi gli stessi prodotti dal sale fuso e dallo stesso sale sciolto nell'acqua, l'azione dell'acqua nel secondo caso si riduce a tenere il sale allo stato liquido, e cioè nella condizione voluta perchè la decomposizione abbia luogo.

Cotali fatti si verificano sopra tutte le soluzioni saline. Il metallo si ottiene sempre al polo negativo. Adoperando soluzioni di platino, e usando electrodi d'argento, il platino si depone in uno stato di grande divisione sopra l'electrode negativo. Così si hanno a poco prezzo delle lamine di platino che servono con vantaggio come elementi negativi delle coppie. Vi sono però molte soluzioni saline nelle quali il metallo non comparisce libero al polo negativo; e invece si ottiene allo stato di ossido, nel qual caso è sempre accompagnato dallo sviluppo del gas idrogene. Questo avviene per tutti quei sali, il cui metallo ha tanta affinità per l'acqua da scomporla, da ossidarsi, e svilupparne l'idrogene. Questo appunto accade coi sali di potassa, soda, calce, magnesia ec. L'ossido e l'idrogene sono perciò prodotti secondari: il metallo che si ossida e scompone l'acqua è il prodotto primitivo; e la quantità d'idrogene che se ne ha equivale chimicamente al metallo separato, e rappresenta con esattezza la quantità di metallo che si è ossidata.

Prima di por fine a queste generalità mi convien parlarvi di un fenomeno singolare che presentano sotto l'azione della corrente i sali ammoniacali. I Chimici sanno che il gas ammoniaco risulta da una combinazione di gas idrogene e gas azoto: il gas ammoniaco ha tutte le proprietà degli ossidi, e forma perciò dei sali. Vedete un pezzo di sale ammoniaco o idroclorato d'ammoniaca, in cui ho fatto una piccola cavità. Poso questo pezzo di sale sopra una lamina di platino che è unita al polo positivo della pila, poi metto una goccia di mercurio (*Fig.* 134) nella cavità, a fo pescare in essa un filo di platino che comunica col polo negativo. La pila è di 200 coppie. Osservate che scorsi pochi secondi il globetto di mercurio cresca di volume, si gonfia rapidamente a tanto da escir fuori della sua cavità; nello stesso tempo cessa il mercurio d'esser liquido, ed apparisce amalgamato. Questo fatto curioso, scoperto dal Dott. Seebeck di Jena, ha fatto credere a Davy ed a Berzelius che l'ammoniaca fosse l'ossido di una specie di metallo composto, che chiamarono *ammonio*, e che perciò l'idrogene e l'azoto fossero corpi composti. Ma sin qui mancano altre prove in favore di questa teoria. Il fatto è che quest'amalgama presto si decompone: gettata nell'acqua si vede il mercurio farsi liquido, svolgersi del gas idrogene, e l'acqua caricarsi di ammoniaca. La composizione di quella amalgama è stata determinata da Gay-Lussac e Thénard, secondo i quali il mercurio assorbe 3,47 volte il suo volume d'idrogene e 4,32 volte il suo volume di gas ammoniaco. Tutti i sali d'ammoniaca danno luogo a questo fenomeno. Si ottiene la detta amalgama senza la corrente, facendo agire una soluzione di un sale ammoniacale sopra un'amalgama di potassio.

Riassumerò questi fenomeni generali della decomposizione elettro-chimica dicendovi, 1.° che l'acqua non è essenziale per questa decomposizione, e che molti corpi la soffrono senza la presenza dell'acqua, e la soffrono egualmente o fusi, o sciolti nell'acqua; 2.° che molti corpi divengono decomponibili allo stato di fusione; 3.° che non tutti i prodotti che compariscono sopra gli electrodi sono dovuti direttamente all'azione della corrente, e che ve ne sono dei *secondari* i quali si devono all'azione chimica dei prodotti *diretti* sul liquido scomposto e sulla sostanza degli electrodi.

Esposte le generalità che riguardano l'azione elettro-chimica della corrente, è tempo d'entrare un po' più addentro in questo importantissimo soggetto. Le leggi che ora vi esporrò sono il risultato di scoperte assai recenti, dovute in gran parte a Faraday, e a molte mie ricerche pubblicate in cinque successive Memorie nella *Bibliothèque Universelle*.

1. Legge. *La quantità di una combinazione scomposta dalla corrente è sempre proporzionale alla quantità di elettricità che vien trasmessa per quella combinazione.*

Per dimostrare questa legge si costruiscono alcuni voltaimetri simili a quelli della *Fig.* 128, e solamente diversi fra loro per l'estensione degli electrodi, per la distanza o grossezza dello strato liquido, per la maggiore o minor quantità di acido solforico aggiunto all'acqua. Si fa passare la corrente di una pila per tutti questi voltaimetri riuniti insieme l'uno di seguito all'altro. La quantità d'acqua che è scomposta, misurata dal volume dei due gas sviluppati, è eguale in tutti i voltaimetri. Questa quantità dei gas sviluppati, benchè eguale nei diversi

voltaimetri, è però sempre regolata dalla quantità che si raccoglie nel voltaimetro in cui la conducibilità è minore: e infatti se si supponesse questa conducibilità ridotta a zero, cesserebbe il passaggio della corrente e quindi lo sviluppo dei gas in ogni voltaimetro. Ma eccovi un apparecchio che vi dimostrerà anche meglio la detta legge: nella *Fig.* 129 sono disposti tre voltaimetri V e v, v' eguali: nel primo V la corrente entra da e ed esce da m, e vi circola tutta intiera: in m la disposizione dell'apparecchio diviene tale, che la corrente si divide nei due voltaimetri v e v', e le due correnti parziali si riuniscono di nuovo in n. Le estremità della pila pescano in o e in n che sono piccole cavità piene di mercurio come m, onde le comunicazioni sieno meglio stabilite. Quando si fa passare la corrente, il prodotto gassoso che si ha nel voltaimetro V, in cui la corrente passa tutta intera, è esattamente in ogni caso, eguale alla somma del gas svolti nei due voltaimetri v e v'. Se nei due voltaimetri la conducibilità è eguale, in v e in v' è scomposta la stessa quantità di acqua, ed è per appunto la metà di quella scomposta in V. Se poi v'è differenza di conducibilità, se in uno è maggiore e nell'altro minore, le quantità d'acqua scomposta in v e in v', benchè diverse fra loro, rimangono sempre eguali colla loro somma alla quantità totale scomposta in V. Questo principio sussiste per tutti i corpi che hanno una composizione determinata, che sono fatti di un equivalente di un elemento unito all' equivalente d'un altro, e che conducono l'elettricità.

Suppongo che una data corrente venga trasmessa per l'acqua di un voltaimetro e poi per il protocloruro di stagno, per il protoioduro di piombo, per il protossido di bismuto, tenendo questi corpi allo stato di fusione col calore. La corrente passa, scompone tutte queste combinazioni in quantità diverse: ma un calcolo assai semplice prova che queste diverse quantità delle diverse combinazioni nominate e scomposte da una stessa corrente, *sono proporzionali ai loro equivalenti chimici*. Così si trova che la quantità d'idrogene sviluppato al polo negativo nel voltaimetro sta alla quantità di stagno ottenuto allo stesso polo nel protocloruro di stagno, a quella del piombo svolto nel protoioduro, a quella di bismuto ottenuta nell'ossido, come stanno fra loro i numeri 12, 47 ; 735, 29 ; 1294, 50 ; 886, 92 ec.; che sono gli equivalenti dell'idrogene, dello stagno, del piombo, del bismuto ec.

Laonde la legge già esposta, e riferibile al caso di una data combinazione scomposta dalla corrente, può esprimersi in termini più generali, dicendo che *l'azione chimica di una corrente*, o *la quantità di resistenza chimica che essa può vincere, è proporzionale alla quantità di elettricità che la costituisce e che passa per il corpo scomposto.*

Ho dimostrato questa legge generale anche in due casi molto importanti. Le combinazioni binarie di 2.° ordine, i sali, vengono egualmente scomposte, come se non fossero in questo stato; lo vengono *direttamente*, e i loro prodotti non son dovuti alla reazione chimica degli elementi dell'acqua scomposta sopra quelli del sale. Si riunisca (*Fig.* 130) il voltaimetro V ai vasi B e C per mezzo di fili metallici, in modo da farne tanti voltaimetri. In B si metta dell'acetato di piombo che si fa fondere colla fiamma F a spirito, e in C si metta una soluzione nell'acqua dello stesso acetato. Passa una stessa corrente per P e per N e scompone l'acetato di piombo sciolto nell'acqua, l'acetato fuso e anidro, e l'acqua del voltaimetro. Perchè l'acetato di piombo sia anidro, si fa fondere due volte: nella prima fusione perde l'acqua di cristallizzazione. Le quantità di piombo raccolte in B e in C sono, da pochissime differenze in fuori, le stesse, e sono *equivalenti* alla quantità d'acqua scomposta nel voltaimetro o alle quantità di idrogene e d'ossigene che vi si sono raccolte. Il nitrato d'argento, il borato di piombo, presentano uno stesso risultato. Le conseguenze di questi fatti son evidenti: i sali vengono scomposti *direttamente*, e lo vengono perciò direttamente anche quando son disciolti nell'acqua, la quale non fa che tenerli allo stato liquido perchè la decomposizione elettro-chimica abbia luogo. L'acido che è unito all'ossido non accresce la resistenza che dee esser vinta dalla corrente. Era importante di bene stabilire la scomposizione diretta dei sali, essendosi generalmente ammesso, che la corrente scomponeva sempre l'acqua sola, e che l'idrogene e l'ossigene dell'acqua, agendo poi chimicamente sulla combinazione salina, davano luogo ai così detti prodotti *secondari*. Così nell'acetato di piombo, secondo questa teoria, l'idrogene dell'acqua scomposta, portato al polo negativo, scomponeva l'ossido di piombo, s'univa all'ossigene per affinità chimica, e perciò ne compariva il piombo. Ora che abbiamo visto che anche senz'acqua si hanno da un sale scomposto dalla corrente gli stessi prodotti che si hanno da quel sale sciolto nell'acqua, non può più ammettersi quella teoria, e convien dire che i sali sono sempre scomposti direttamente. Il modo con cui soffrono la decomposizione è regolato sempre da questa legge: un equi-

valente di acido e più un equivalente d'ossigene vanno al polo positivo; un equivalente di metallo va al polo negativo: se il metallo non ha affinità coll'ossigene a modo da scomporre l'acqua, si mostra allo stato metallico quale lo separa la corrente; se poi l'affinità è grande, il metallo si ossida, scompone l'acqua, e ciò che rappresenta il metallo è una quantità equivalente di gas idrogene, che è il prodotto dell'acqua scomposta. Così avviene coi sali di potassa, soda, barite ec.

Questa legge si verifica ancora nel caso in cui il conduttore liquido percorso dalla corrente contiene due o più corpi che la corrente scompone. Supponiamo che si sciolga nell'acqua il cloruro di potassio o un altro corpo qualunque, e che la corrente si faccia passare per il corpo così composto e per l'acqua del voltaimetro: si trova che i prodotti ottenuti sono soggetti alla legge generale stabilita. Il cloruro infatti e l'acqua in cui è sciolto sono scomposti direttamente; e si hanno del cloro e dell'ossigene al polo positivo, dell'idrogene e del potassio che si converte in idrogene, al polo negativo: nello stesso tempo è scomposta l'acqua del voltaimetro. È facile di trovare quanto è il cloruro scomposto, quanta è l'acqua scomposta insieme al cloruro: finalmente è facile di ridurre colla tavola degli equivalenti, la quantità di cloruro che è stata scomposta, in una quantità equivalente di acqua. La quantità che si trova da questo calcolo, sommata alla quantità d'acqua che è realmente scomposta dalla corrente, dà un numero eguale alla quantità d'acqua scomposta nel voltaimetro. Così è sempre più dimostrato, che anche quando la corrente divide la sua azione sopra due o più combinazioni, è sempre capace di vincere la stessa quantità di resistenza chimica. Becquerel ha recentemente confermato, nel caso or da me stabilito, l'azione chimica *definita* della corrente.

Noi possiamo ora distinguere esattamente un prodotto primitivo della corrente da un prodotto secondario, e stabilire in qual rapporto stanno fra loro nei diversi casi. Eccovi in breve ciò che intendiamo di dire con queste denominazioni. Sin qui vedeste l'acqua scomposta dalla corrente dare sui fili metallici che ve la trasmettono, da una parte idrogene, dall'altra ossigene. Ma non sarà più così se vario l'esperimento, e se in luogo de' fili di platino per trasmettere la corrente nell'acqua adopero fili di ferro, di rame, di zinco, in una parola metalli facilmente ossidabili. In questo caso l'ossigene non si sviluppa più, o si sviluppa in molto minor quantità al polo positivo, perciocchè una porzione di questo gas serve ad ossidare, si combina al metallo che compone l'elettrode. Ora la legge che abbiamo stabilito ci mette in caso di ben distinguere questo prodotto secondario. Supponiamo di raccogliere l'idrogene e l'ossigene; se al polo positivo evvi un prodotto secondario, l'ossigena che vi si sviluppa non sarà più equivalente all'idrogene che si produce all'altro polo. Aggiungo all'acqua, acidulata con una porzione d'acido solforico, una piccola quantità d'acido nitrico: raccolgo i prodotti gassosi dei due poli, e trovo che l'idrogene è in minor quantità di quella che sarebbe stato senza la presenza dell'acido nitrico. Se l'acido nitrico fosse anche aggiunto in quantità più abbondante cesserebbe affetto lo sviluppo dell'idrogene, e vedreste invece il liquido farsi rosso specialmente a quel polo. In questo caso è acido nitroso che si forma: l'idrogene dell'acqua scompone l'acido nitrico, si unisce ad una porzione del suo ossigene, e lascia l'acido nitroso.

L'acido solforico molto concentrato, e traversato dalla corrente, dà dello zolfo al polo negativo: questo zolfo è pure un prodotto secondario, ed è dovuto all'azione dell'idrogene che scompone l'acido solforico, si combina all'ossigene e si libera dallo zolfo. Nel nitrato d'argento disciolto nell'acqua, se la corrente non è molto forte, vedete al polo positivo svilupparsi dell'ossigene dell'acido nitroso e insieme farsi una polvere nera, e qualche volta degli aghi neri ben distinti. Si forma così un perossido d'argento per la combinazione dell'ossigene coll'ossido d'argento. In tutti i casi si possono sempre distinguere i prodotti secondari: fate che la corrente passi per l'acqua del voltaimetro e per l'altro corpo che volete tentare. I prodotti elettro-chimici di questo secondo devono esser sempre *equivalenti* a quelli ottenuti nel voltaimetro se son *diretti*, se son dovuti all'azione diretta della corrente; se non lo sono, bisogna tenerli effetti dell'affinità chimica fra i prodotti diretti e la sostanza dell'electrode, o il corpo disciolto, o gli elementi dell'acqua. Becquerel modificando in convenevole maniera l'azione della corrente, disponendo le combinazioni da scomporsi in modo da favorire le azioni chimiche fra i prodotti delle correnti e le combinazioni stesse, è giunto ad ottenere dei composti che fin qui si erano riscontrati fra i soli prodotti naturali. Pare che lo stesso Fisico speri di avere, con questi principi, un processo elettro-chimico conveniente per la separazione dei metalli dai minerali in cui sono contenuti.

L'azione elettro-chimica, definita com'è determinata dalla legge su cui abbiamo si-

no ad ora insistito, non si verifica più nel caso di combinazioni che non sono di un equivalente con un equivalente. In questa classe di combinazioni, la più estesa, la più importante, che è quella che costituisce la classe degli Electro-liti per Faraday, entrano l'acqua, i protossidi, i protocloruri, i protolodnri, i protobromuri, i sali fatti di un equivalente d'acido e di un equivalente d'ossido. Non si vuol tacere che vi sono alcune combinazioni le quali fanno eccezione alla legge; e convien dire che queste mancano di conducibilità.

Allorchè la combinazione scomposta dalla corrente è di un equivalente di un corpo con due equivalenti di un altro, p. es. il bicloruro di rame, la quantità che è scomposta da una data corrente è la metà di quella che sarebbe se la combinazione fosse di un equ. con un equ. Questa legge si stabilisce nel seguente modo. Si faccia passare una corrente per l'acqua del voltametro e per il protocloruro di rame: le quantità d'acqua e di protocloruro che sono scomposte son proporzionali agli equivalenti di queste due combinazioni. Se in luogo del protocloruro si mette il bi-cloruro; per una data quantità di acqua scomposta nel voltametro, la quantità di bi-cloruro che è scomposta si trova essere la metà di quella che sarebbe se fosse stato il protocloruro. Se in luogo del bi-cloruro di rame si mettesse una combinazione, conosciuta sotto il nome di butirro d'antimonio, che è fatta di 3 equ. di cloro, e di 1 equ. d'antimonio, la quantità di questa combinazione che è scomposta, non è che 1/6 di quella che sarebbe, se si fosse decomposta in suo luogo una combinazione di 1 equ. con 1 equ. Vedesi da ciò come al crescere del numero relativo degli equivalenti in una combinazione, diminuisce sopra di questi l'azione elettro-chimica della corrente: il che fa concepire in qualche modo, come una combinazione di 4 equ. di cloro e 1 equ. di stagno, il liquore di Libavio, non si lascia scomporre affatto dalla corrente. E questa proprietà non si può già attribuire a difetto di conducibilità degli elementi, cloro e stagno, giacchè il protocloruro di stagno conduce assai bene. Ho ultimamente sottoposto il liquore di Libavio ad una corrente assai forte di 400 elementi, e non ne ha esso lasciato passare una quantità sufficiente da far deviare l'ago di un galvanometro sensibilissimo di Gurijon. Questo fatto mostra evidentemente, che è molto intima la relazione fra la conducibilità e la decomposizione elettro-chimica.

Faraday aveva ammesso, in seguito di molte osservazioni sopra l'azione chimica della corrente, che era questa azione tanto minore, quanto più era debole l'affinità che univa gli elementi delle combinazioni che la corrente. E questo appunto è ciò che avviene al crescere del numero relativo degli equivalenti del due elementi di una combinazione. Mi guarderei però dall'ammettere un tal principio confrontando insieme l'azione che soffrono dalla corrente le combinazioni di un equ. con un equ.; certo essendo che in questo caso l'azione che ha la corrente nello scomporle, segue i rapporti stabiliti dalle affinità chimiche. Così l'ossido d'argento è scomposto più facilmente dell'ossido di piombo.

Ci bisogna ancora studiare l'influenza del numero delle coppie e del liquido che vi è interposto, sull'azione chimica della corrente; ci rimane a parlare del rapporto fra i prodotti chimici della corrente e la forza della pila che la produce. Sono già molti anni che Gay-Lussac e Thénard nelle loro celebri Ricerche fisico-chimiche stabilirono, che gli effetti chimici dalla pila dipendevano dalla sua tensione, cioè dal numero delle coppie, e dalla conducibilità e azione chimica del liquido interposto fra le coppie sull'elemento positivo. Faraday ha in seguito cercato di provare, che indipendentemente dal numero delle coppie, perchè una data corrente fosse dotata di una certa azione chimica, bisognava che l'azione chimica da cui è prodotta avesse una determinata intensità. Ei riferiva che una coppia sola, zinco a platino, zinco e rame, non era capace di scomporre l'acqua, e che per quanto acido solforico s'aggiungesse, per quanto la superficie dello zinco immerso si rendesse maggiore, la corrente non acquistava mai tanta azione chimica. Era giunto così il celebre Fisico Inglese a dare una scala di combinazioni, di cui l'affinità andava sempre crescendo a misura che era maggiore l'intensità della corrente necessaria a scomporle, e la scala era questa: ioduro di potassio in soluzione, cloruro d'argento fuso; protocloruro di stagno fuso; cloruro di piombo fuso; acido idroclorico in soluzione; acqua acidulata con l'acido solforico. Si sa oggi, come già si è visto, che anche una coppia sola scompone l'acqua, come sarebbe quella di Grove o di De la Rive.

È un fatto che prendendo pile di un piccol numero di coppie e cariche con un liquido appena acido, si trova che confrontando, p. es., la soluzione dell'ioduro di potassio e l'acqua, si giunge con un minor numero di coppie a scomporre la prima e non la seconda. È pur giusto l'altro fatto di Faraday, che aggiungendo al liquido di una coppia sola che non scompone l'acqua, poche gocce d'acido nitrico, si hanno presto i

segni della decomposizione. Non credo però che debba stabilirsi, che l'elettricità chimica della corrente non dipende dalla quantità di elettricità che circola; perciocchè aggiugendo acido nitrico, non si fa che accrescere la conducibilità del circuito della pila, e l'azione chimica diviene invece meno viva, essendo minore la porzione dello zinco che è disciolta senza produrre corrente. D'altronde accrescere l'acido solforico, aumentare la superficie dello zinco, non è aumentare corrispondentemente la quantità dell'elettricità che circola, ma bensì quella parte che si ricompone sullo zinco. Si prova facilmente che gli effetti chimici della corrente sono accresciuti estendendo in proporzione alla maggior superficie dello zinco la superficie dell' elemento negativo. Ogni combinazione ben definita di un equ. con un equ. che è sciolta nell'acqua o è fusa, e per cui la corrente passa, si lascia scomporre, qualunque sia la quantità di corrente che circola: i prodotti si veggon più o meno distintamente, secondo che gli elementi delle combinazioni hanno dei numeri equivalenti, più o meno grandi in peso, e secondo il vario stato fisico in cui si svolgono.

L'estensione degli elettrodi su cui si sviluppano i prodotti chimici della corrente, ha pure un'influenza sopra l'azione elettrochimica. Così ho provato con l'esperienza, che si potevano disporre delle correnti così deboli di azione chimica da non agir più sopra una certa combinazione, se vi veniva trasmessa con lamine di platino larghe un centimetro: l'azione chimica aveva però anche luogo adoperando fili molto sottili in luogo di lamine.

Prima di esporvi le idee le meglio fondate che abbiamo per ispiegare l'azione chimica della corrente, devo ancora dirvi degli sforzi fatti per determinare, in relazione ad altri fenomeni elettrici, quale era la quantità di elettricità necessaria a scomporre una data combinazione. Faraday ha provato che per scomporre un grano d'acqua acidulata era necessaria una corrente continuata per 3 minuti e 45 secondi, e capace di mantenere al calor rosso nell'aria e per lo stesso tempo, un filo di platino di 1/104 di pollice di diametro. Dice Faraday di aver trovato che quando la corrente era capace di una data azione chimica, era costante la lunghezza del filo di platino tenuta al calor rosso, qualunque fosse la totale lunghezza del filo. Basterà di pensare all'immensa velocità della corrente, per concludere quanto debba esser grande la quantità di elettricità che circola in quel tempo, e scompone un grano d'acqua... ! Ricordiamoci ancora il principio fondamentale della teoria chimica: la quantità di elettricità sviluppata nella scomposizione chimica di un grano d'acqua, quella quantità che è nascosta, che trovasi combinata negli elementi dell'acqua, se è ridotta a corrente, è capace di separare gli elementi dello stesso grano d'acqua. Ammesso questo, come non ammettere che nelle più piccole molecole composte è immensa la quantità di elettricità che vi si trova, e che si sviluppa allorchè si formano? E tali considerazioni, fondate sull'esperienza, non ci conducono forse a stabilire che i fenomeni dell'elettricità devono oramai rappresentarsi col movimento di un etere, d'un fluido imponderabile, come facciamo per la luce e pel calore? Faraday deduce da alcune esperienze, che sarebbe necessario di adoperare 800,000 scariche di una batteria composta di otto bocce alte otto pollici e di ventitre di circonferenza, cariche con trenta giri del disco di una forte macchina elettrica, per avere la quantità d'elettricità necessaria a scomporre una molecola d'acqua. Pouillet partendo da altre considerazioni, stabilisce che la quantità d' elettricità necessaria a scomporre un grammo d'acqua, equivale a 13787 la quantità di elettricità che passa in un minuto in un circuito di bismuto e di rame, la cui lunghezza equivale a 20 metri di filo di rame di un millimetro di diametro, e le due saldature del quale hanno una differenza di temperatura di 100°.

Questi numeri e questi rapporti sono ancora lontani, a parer mio, da potersi tenere per esattamente stabiliti. Nondimeno è fuor d'ogni dubbio, ed è questo uno dei veri progressi dovuti alle scoperte elettriche moderne, che è immensa la quantità di elettricità che si sviluppa dall'azione chimica la più debole, in confronto di quella che la pressione, la confricazione e il calore svolgono, anche agendo nelle più favorevoli circostanze. Tutto il nostro studio deve portarsi a cercar di rendere allo stato di corrente tutta l'elettricità che si sviluppa, e ad impedire che sparisca in quei punti stessi della sorgente in cui è prodotta. Allorchè partendo da queste considerazioni, si è voluto ammettere che la causa dello sviluppo dell'elettricità nella confricazione del disco di vetro sul cuscino, poteva essere un'azione chimica anche assai debole, non si è osservato, che quando anche vi fosse quest'azione chimica, sarebbe impossibile di ottenerne l'elettricità sviluppata, nè allo stato di corrente nè a quello di tensione, a motivo della cattiva conducibilità dei corpi fra cui accade l'azione.

Non finirei mai se volessi esporvi tutte

le ipotesi create per rendersi conto dell'azione chimica della corrente. La conclusione però meglio stabilita da molte esperienze che vedremo, e che può metterci sulla via d'intendere questo fenomeno, è la seguente: allorchè la corrente elettrica passa attraverso ad una combinazione determinata di 1 equ. con 1 equ., per es. attraverso dell'acqua, i due elementi che compongono l'acqua si separano in tutta la linea delle molecole di acqua che la corrente traversa, si muovono in direzione contraria, l'idrogene verso il polo negativo, l'ossigene verso il polo positivo, e successivamente si ricombinano formando nuova acqua, in modo da non rimaner liberi che gli elementi delle due molecole estreme prossime ai poli. Nella *Fig.* 139 ho disegnate tre molecole d'acqua, ognuna delle quali nella linea superiore è fatta di due atomi d'idrogene e di un atomo d'ossigene. Fatta passare la corrente, la disposizione che prendono è sotto disegnata, ed ivi si vede come ai poli riman libero da una parte l'ossigene, dall'altra l'idrogene. Ecco il modo, un po' oscuro, col quale Faraday esprime quello che ho detto: « La de» composizione elettro-chimica è prodotta » da *una azione corpuscolare* interna che si » sviluppa nella direzione della corrente » elettrica, o che è dovuta a una forza so» praggiunta alle affinità chimiche ordina» rie dei corpi presenti, o che imprime una » direzione a queste affinità. Il corpo decom» ponente può esser rappresentato come una » massa di particelle agenti sulla strada » della corrente, ed è perchè l'affinità chimi» ca è neutralizzata dall'influenza della cor» rente elettrica in una direzione parallela » alla sua e aumentata in una direzione op» posta, che le parti combinate hanno una » tendenza a dirigersi in una strada oppo» sta ». Le particelle elementari non vengono da un polo all'altro senza incontrarsi con altre particelle elementari; e quelle che si mostrano ai poli rimangono libere, in quanto che nelle molecole contrarie, con cui erano combinate, si sveglia, per l'azione della corrente, un'affinità chimica più forte colle molecole elementari contrario della molecola composta prossima.

Il vantaggio di queste idee è quello di rappresentarci giustamente l'ufficio dei poli o elettrodi. I prodotti dell'azione chimica della corrente si mostrano sulle lamine metalliche, per ciò solo che non vi si possono combinare, e che non può accadere nella loro sostanza quella serie successiva di decomposizioni e combinazioni che abbiamo ammesse nell'interno della massa percorsa dalla corrente, e che è dovuta all'affinità chimica, determinata dalla corrente ad agire in certe direzioni.

Faraday infatti ha provato che l'acido solforico era dalla corrente elettrica trasportato in maggior quantità, allorquando era combinato alla soda, e perciò con una forte affinità, di quello che quando stava mescolato all'acqua, e appena combinato. L'apparecchio [*Fig.* 103] è fatto di lozanghe di stagnola poste sopra una carta di tornasole o di curcuma, che sono percorse da una specie di corrente elettrica prodotta dalla macchina: s'imbeve di una soluzione salina la carta, e fatta passare la scintilla si presentano alle punte estreme delle lozanghe i prodotti dell'azione chimica della corrente: per l'ultima lozanga l'aria rappresenta il polo. Tutti i fenomeni studiati dal celebre Davy s'intendono ora facilmente. Eccovi tre capsule piene di liquidi, e messe in comunicazione con tubi pieni d'acqua. In una capsula estrema v'è una soluzione salina, e v'è acqua nelle altre. Se metto il polo negativo della pila nella soluzione salina, e il positivo nella terza capsula estrema, la decomposizione ha luogo, e l'acido compare nella terza capsula in cui pesca il polo positivo, avendo perciò traversato la capsula intermedia. Eppure, tingendo con tornasole quell'acqua, non la veggiamo farsi rossa mentre la corrente passa, ed al contrario si fa rossa quella della terza capsula. Se invece di una tintura di tornasole si mette nella capsula intermedia una soluzione di un ossido, di barite p. es., con cui l'acido solforico abbia una forte affinità, si vede l'acido solforico comparire in questa capsula, e produrvi un abbondante precipitato bianco, che è il solfato insolubile di barite. L'acido non passa perchè si combina all'ossido, e forma un corpo insolubile. La barite è divenuta il polo positivo. Eccovi ancora un'esperienza assai concludente: verso in questo bicchiere una soluzione satura di solfato di magnesia e sopra vi verso dell'acqua pura, ma così leggermente, che i due liquidi non si mescolano subito. Intanto l'apparecchio è disposto in modo che il polo positivo della pila è fisso nel fondo del bicchiere e immerso nel solfato, e il negativo è nell'acqua. Poco dopo vedete comparire, fra l'acqua e la soluzione del solfato di magnesia, uno strato bianco, che è di magnesia: quest'ossido si depone in quel punto perchè è insolubile nell'acqua. Sta sempre che vi è un polo, ove i prodotti elettro-chimici compariscono, dove cessano di essere trasportati dal gioco delle affinità chimiche intestine modificate dalla corrente.

Una delle più belle conseguenze dei feno-

mcui chimici dell'elettricità, è la teoria elettro-chimica dell'affinità. L'idrogene, i metalli ed altri corpi, si sviluppano sempre al polo negativo della corrente; l'ossigene, il cloro, l'iodio, gli acidi, si ottengono sempre al polo positivo; le combinazioni sono distrutte dalla corrente, e gli elementi si separano nelle direzioni stabilite or ore.

Berzelius ammise che ai corpi appartenessero stati elettrici contrari a quello del polo o delle estremità della pile a cui si porteno, e che perciò l'affinità fosse l'effetto dell'ettrezione elettrice, della neutralizzazione degli stati elettrici contrari appartenenti alle molecole elementeri. Quando la combinazione si effettua, quando due corpi si uniscono con un certo grado d'affinità, v'è sempre combustione, sviluppo di calore e di luce; me v'è pure sviluppo di calore e di luce quando due stati elettrici opposti si scericano, si neutralizzano. È pur bello, nè vorrei che l'ignoreste, quantunque si tratti di un'ipotesi e dovreste enche fra elcuni anni persuadervi del contrario, è pur bello dire che la combustione, le luce e il calore che eccompagnano la combinazione, sono l'effetto della scarica degli stati elettrici contreri che appartengono ai corpi che si combinano!

Non voglio però che neppure ignoriate le grevi opposizioni che si fanno a questa dottrina. Come emmettere che le molecole dei corpi sieno dotate di une sola elettricità, o almeno ne abbiano une più forte dell'altra? Supponiamo bensì nei corpi calamitati, nei cristalli termo-elettrici, delle correnti molecolari, degli stati elettrici di tensione; ma sempre di eguale tensione li supponiamo questi stati e non di diversa, come bisognerebbe supporlo adesso. Come intendere che uno stesso corpo sia ora positivo, ora negativo? Eppure veggiamo che può entrare in due combinazioni diverse, e che da queste ora è separato della corrente al polo positivo, ora al negativo. Come spiegare la coesione, l'attrazione che unisce i due elementi dopo che si sono combineti e che le scarica ha avuto luogo, e che gli stati elettrici sono scomparsi? Tutte queste opposizioni sono gravi; e finqui non si è risposto che creando eltre ipotesi, che devo taccrvi.

Il fatto è, che quando due corpi si combinano v'è sviluppo di elettricità: che i due corpi combinati sono seperati di nuovo dalla corrente elettrice; e che tanta elettricità si sviluppe nella combinazione di due corpi, quante è necessaria per scomporre la loro combinazione, per separarli di nuovo. Quendo fre due fenomeni, come nel nostro caso, azione chimica e elettricità, il legame è così intimo, v'è da sperare che col progresso della scienza se ne stabilisca quella connessione, quel rapporto che passa fra cause e effetto.

Berzelius, fondandosi sulla teoria elettrica dell'affinità, he ordineto i corpi nel grado delle loro reletiva affinità, avuto riguardo alle loro relative tendenze elettriche rispetto al polo della pila a cui si sviluppano.

L'ossigene, il cloro, l'iodio ec., sono alla testa della scala dei corpi elettro-negativi; il potassio, gli altri metalli, l'idrogene, sono alla testa della scala degli elettro-positivi.

Quando le teoria di Berzelius non avesse reso eltro servizio ella Scienza e alla Società che quello che ne trasse il genio di Davy, basterebbe ciò a collocarla fre le più belle creazioni dello spirito umano. L'Ammiragliato Inglese chiese a Davy di consigliare un rimedio onde impedire la rapida ossidazione e corrosione che soffre il rame che veste i bastimenti nella parte con cui pescano nell'acqua del mare; e Davy istituì il seguente ragionemento. Il rame a contatto dell'acque del mare lo scompone, e si combine al suo ossigene; e poichè l'ossigene è un corpo elettro-negativo, la combinazione non potrà più aver luogo, se anche il rame è reso elettro-negativo. Nulla di più facile che rendere il reme elettro-negativo; e hasta di metterlo, come nella coppie voltiana, a contatto dello zinco. L'esperienza era facile a tentarsi, ed il risultato corrispose all'espettative. Davy immerse nell'acqua del mare due lamine di rame ben pulite: una di queste lamine ere unita a un pezzo di zinco che pescava pure nel liquido, l'altra era sola. Dopo poche ore l'azione chimice cominciò sopra quest'ultime, l'altra si conservò lucida e intetta per molto tempo. È questo un fetto che prova ad evidenza essere l'affinità chimica modificeta dallo stato elettrico. Fecesi adunque l'applicazione dell'esperienza di Davy al reme dei bastimenti: il rame non si ossidò nè si corrose, ma vi fu un altro male. La calce, la magnesia, tutti gli ossidi, come doveva ben essere, si deposero sul rame, e in tanta quentità, da farvi uno strato che accresceva di molto la resistenza sofferta dal bastimento nel fender l'acque e muovervisi. Da che si fu costretti ad adottare in pratica il processo di Davy per quei bastimenti che stenno fermi nei porti, e a non servirsene per quelli che navigeno continuamente.

Mi rimane finalmente a dirvi di alcuni fenomeni dovuti all'azione chimica della corrente. Fo passare una corrente di una pila qualunque in una soluzione saline, adoperando per trasmettervela due fili o lamine di platino; poi cessato il passeggio della corrente, metto le sole due lamine di platino

in contatto coi fili del galvanometro, a trovo una forte corrente che è diretta in senso contrario di quella della pila: la lamina da cui esciva la corrente della pila, è la lamina in cui entra la corrente che poi si ottiene. Queste correnti si sono chiamate *secondarie*, e si è detto che erano prodotte da *polarità secondarie*. Non è però necessario di lasciar le lamine immerse in quello stesso liquido per avere la corrente secondaria; ma possono togliersi da quello, e portarle in un altro qualunque. Anche la più debole corrente produce queste correnti secondarie. Ecco due lamine di platino eguali: le immergo nell'acqua distillata unita al galvanometro. Appena ho qualche segno di corrente, che poco dopo cessa. Adoperando istrumenti molto delicati, le più piccole differenze sulle due lamine producono segni di corrente, che però presto cessano. Allora prendo una delle lamine, l'accoppio con una laminetta di zinco, la tuffo nell'acqua e fo che una corrente vi circoli. Quindi la rimetto coll'altra di platino, tenendole tutte due unite al galvanometro, ed ho forti segni di corrente secondaria, che è in senso inverso della corrente che prima ha circolato nel platino allorquando era unito allo zinco. Queste correnti secondarie si producono sopra tutti i metalli, ma tanto meno, quanto più sono essi facilmente ossidabili e soggetti all'azione chimica dei liquidi. Le correnti secondarie non son prodotte che da quelle porzioni delle lamine che toccano il liquido, quando si fa passare la corrente che le produce.

Non è difficile di trovare l'origine delle correnti secondarie. Ricordatevi che se si hanno due lamine di platino unite ai capi del galvanometro, e che se una delle lamine si bagna in un liquido acido, l'altra in un alcali, e poi così bagnate s'immergono nell'acqua, v'è una corrente prodotta che è diretta nel liquido dalla lamina alcalina all'acida. Or bene: quando fo passare con due electrodi di platino la corrente di una pila in una soluzione salina, sopra uno degli electrodi si raccoglie l'acido, sull'altro il metallo che si converte in ossido o alcali, quando è di quelli che scompongono l'acqua, come il potassio, sodio ec. In una parola uno degli electrodi si copre d'acido, l'altro d'alcali. E perciò naturale che vi sia corrente quando le due lamine distaccate dalla pila sono immerse in un liquido; e ne segue che questa corrente secondaria dura un certo tempo, cioè finchè sono scomparsi i due strati d'acido e d'alcali, e che è diretta in senso contrario della corrente della pila. L'electrodo positivo da cui esce la corrente si copre d'acido, l'altro in cui entra la corrente si copre d'alcali. La corrente secondaria va invece dall'alcali all'acido nel liquido. Rimangono a spiegarsi queste correnti secondarie quando si formano pel passaggio della corrente nell'acqua pura, in cui non v'è nè alcali nè acido separato sugli electrodi, ma solo idrogene e ossigene; o una mia esperienza vi porrà in chiaro il fatto. Prendo due lamine di platino unite al galvanometro: le due lamine sono eguali, omogenee, e non c'è corrente se le immergo in un liquido. Una di queste lamine la metto in una boccia piena di gas idrogene puro, l'altra nel gas ossigene: l'esperienza è disposta in modo, che i due gas non possano fuggire. Lascio queste due lamine a contatto dei gas per qualche minuto, poi le ritiro, e, unite al galvanometro, le tuffo nell'acqua. Vedete prodursi una corrente, che è di 30° a questo galvanometro assai sensibile, e che va nel liquido dalla lamina immersa nel gas idrogene a quella immersa nell'ossigene. Anche la immersione di una sola delle lamine è sufficiente per produrre un tal fenomeno. Grove partendo da questo fatto, ha riunito insieme, a guisa di pila, delle lamine di platino che in parte erano immerse nell'acqua e in parte in un gas. Questo gas era or l'idrogene, ora l'ossigene. Congiungendo insieme metallicamente la lamina dell'ossigene con quella dell'idrogene, e così successivamente, ha il Grove ottenuto la scintilla e la scomposizione dell'acqua. A misura che la pila agisce, i gas in contatto del platino vanno diminuendo. Lo stesso Fisico sarebbe giunto ai seguente risultato molto importante: nel tempo in cui nei tubi della pila sparivano due volumi d'idrogene per un volume d'ossigene, questi si formavano nel voltametro.

Allorchè adopero le due lamine di platino per scomporre l'acqua, sopra una (la positiva) si raccoglie l'ossigene, sull'altra (la negativa) l'idrogene, e la corrente secondaria va appunto nel liquido da quest'ultima all'altra, dalla lamina su cui si svolse l'idrogene a quella su cui si svolse l'ossigene. Peltier ha trovato che questi strati, o di alcali o di acido, o anche gassosi, prodotti dal passaggio della corrente in un liquido, si formavano eziandio nel liquido stesso; di modo che immergendo due lamine di platino unite ai capi del galvanometro in quei punti del liquido in cui prima hanno pescato gli electrodi della pila, si ha ancora la corrente secondaria. La produzione di queste correnti dà la spiegazione della pila *secondaria* di Ritter. Questa pila secondaria, di cui si vede lo spaccato nella *Fig* 136, consiste in una cassetta rettangolare di legno, verniciata, e divisa in tanti compartimenti da

lamine di platino, d'argento, d'oro, rame ec.: s'empiono di un liquido qualunque tutti questi compartimenti. Si fa passare per un certo tempo una corrente di una pila composta di un numero abbastanza grande di coppie, immergendo i suoi poli nei due compartimenti della pila secondaria. Tolto il passaggio della corrente, la pila secondaria dà per un certo tempo tutti gli effetti della pila riunendo con un arco metallico, o in parte liquido e metallico, i suoi due estremi. La corrente è di necessità diretta in senso contrario di quella della pila. Sopra alcuna facce dei diafragmi metallici si raccoglie o l'alcali, o l'idrogene; e sono queste le facce in cui entra la corrente: l'ossigene e gli acidi sulle facce opposte. Cessata la corrente della pila, sorgono le correnti dovute all'azione chimica dei corpi separati dall'azione chimica della corrente sulle superficie metalliche.

Questa corrente secondaria, ottenuta adoperando una pila di poche coppie e dei diafragmi di platino, è così forte, da vincere la corrente della pila stessa e da distruggere così gli effetti della corrente che la produce. È dessa una delle principali cagioni per cui la corrente della pila s'indebolisce: sulle stesse coppie e sugli electrodi si formano i depositi che danno luogo alla corrente secondaria, la quale andando in direzione contraria di quella della pila, indebolisce la corrente della medesima. Fatta cessare la corrente, lasciato il circuito aperto, e richiuso solo poscia quando sono cessate in ogni coppia le correnti secondarie, e distrutti gli strati prodotti dall'azione chimica della corrente, la pila ricomincia ad agire come da principio.

Vi farò un cenno altresì dell'azione delle lamine di platino che hanno servito di polo o di electrodo, sul miscuglio del gas, ossigene e idrogene. Faraday ha scoperto che questi electrodi di platino agiscono come la spugna di platino, favorendo la ricomposizione del due gas e la loro riduzione in acqua. Si dà alle lamine di platino questa attività facendo agire sopra di loro a più riprese soluzioni acide o alcaline molto forti, o riscaldandole a rosso colla fiamma dell'alcool. È difficile di rendersi esattamente conto di questi fenomeni. De la Rive ammette che il platino si ossidi facilmente e facilmente si disossidi, e spiega così il fatto da me scoperto. Secondo questo illustre Fisico la lamina di platino tenuta nell'idrogene è dal gas disossidata, e perciò si ossida a preferenza dell'altra che non ha subita questa azione, allorchè è immersa nell'acqua: così il De la Rive spiega come possa agire da elemento positivo della coppia.

Il passaggio della corrente in certi metalli a contatto di alcuni liquidi particolari produce dei fenomeni ben singolari, e che forse devono riferirsi alle polarità secondaria. Uno dei più curiosi è l'inattitudine che acquista il ferro a soffrire l'azione dell'acido nitrico, allorchè ha servito di polo positivo, onde portare la corrente della pila nell'acido nitrico. Cessata la corrente, seguita il ferro a non soffrir più l'azione dell'acido, comunica ad altro ferro con cui si mette a contatto, questa inattitudine; immerso in una soluzione più concentrata dello stesso acido, non si combina all'ossigene che vi si sviluppa sopra, non è più capace di decomporre i sali di rame in cui è immerso. È però un fatto curioso che questo ferro, quantunque così inattivo, produca corrente sensibile al galvanometro accoppiato con altro ferro allo stato naturale, e che tuttavia vi agisce come elemento positivo, conservandosi lucido come prima. Faraday, Becquerel ec. pensano che il ferro inattivo consista in una combinazione superficiale di ossigene e di metallo che arresta l'azione del nuovo ossigene. Ma questi fatti meritano uno studio molto più esteso, per giungere a darne una ragionevole spiegazione.

Fra i fenomeni curiosi dovuti all'azione chimica della corrente vi è quello scoperto dal Nobili, e che ha chiamato *Metallo-cromia*. In fondo ad una capsula si metta una lamina metallica di platino, d'acciaio, d'argento, d'ottone ec., munita di un filo metallico. Si copra questa lamina di uno strato di liquido che la superi di poche linee. Supponiamo di adoperare una soluzione di acetato di piombo. S'immerga nel liquido, e alla distanza di appena mezza linea dalla lamina, un filo sottile di platino. Poi si stabilisca la comunicazione della lamina col polo positivo, e del filo di platino col polo negativo di una pila di 12 o 15 elementi alla Wollaston di piccola superficie. Dopo pochi secondi si veggono formate sulla lamina diverse iridi concentriche di colori vivissimi e brillanti, come quelli delle penne che ha il pavone alla coda. Queste iridi nascono le une dentro alle altre, incalzandosi a modo delle onde: i colori sono tanto più vivi, quanto più è lucente e levigata la lamina adoperata. Quanti sono i fili negativi adoperati, altrettanti sono i sistemi circolari di iridi che si producono, e tutte hanno per centro costante il punto che corrisponde verticalmente al filo. Se i fili negativi sono prossimi, i circoli non si sormontano; si schiacciano invece nelle parti interne, e sembrano quasi fuggirsi. Se fra le due punte o fili negativi s'interpone una lastra di vetro, gli anelli colorati si formano regolar-

mente anche nella parte interna. Quando la lamina è negativa e il filo positivo, mancano questi cerchi colorati coll'acetato di piombo. Adoperando invece l'acetato di rame, le iridi si producono sulla lamina negativa e specialmente sull'argento: Formasi prima un cerchio nero, poi uno giallo, poi un terzo nero, indi uno di rame puro, e così di seguito. A fine di avere due apparenze o iridi sopra una stessa lamina, si adopera una soluzione composta di acetato di rame e di piombo mescolati. Nella *Fig.* 148 si vede la disposizione la più propria per tentare queste esperienze. Si colloca la lamina metallica, sopra cui si vogliono produrre le apparenze, al fondo del recipiente che contiene la suddetta soluzione. Due fili di platino stretti dentro due pinzette, mobili in tutti i sensi con un meccanismo assai facile ad immaginarsi, sono immersi nel liquido in prossimità alla lastra. In questo caso una porzione della corrente che passa pel liquido traversa la lamina, per cui in faccia alle estremità dei due fili si formano sulla lamina due punti o poli secondari, che sono perciò di nome contrario. La corrente che esce da uno dei fili entra nel punto sottoposto della lamina, e viceversa dell'altro. Volendo una sola delle apparenze, basta di far toccare la lamina con uno dei fili di platino.

Certo è che cotesti colori nascono da strati estremamente sottili aderenti alla lamina e formati di metalli, di acidi, e forse di gas. Conviene però confessare, che ancora ci rimane a dare un'analisi esatta di questo fenomeno.

Nobili era giunto a distribuire queste apparenze in un modo regolare, a comporne dei disegni. Sperando di farne un'applicazione alle arti, nascose egli il processo adoperato in queste applicazioni. Eccovi alcuni rosoni e altri disegni fatti dal Prof. Pacinotti. Senza porvi uno studio molto profondo, è giunto questo ingegnoso Fisico ad imitare molti lavori del Nobili, non facendo altro che tenere più o meno inclinate le punte negative sulla lamina, moltiplicando, variando la disposizione di queste punte.

Non vo' che ignoriate la bella applicazione che l'Jacobi ha fatto dell'azione elettrochimica della corrente. Facendo passare una corrente in una soluzione di solfato di rame, il rame si depone sopra l'electrodo negativo, e il deposito s'ingrossa prolungando l'azione; tanto che si giunge ad averne lastre di rame che possono distaccarsi dalla superficie metallica su cui si sono formate. E se sopra di questa superficie v'erano dei rilievi o dei solchi, la lamina di rame formata col metallo separato e deposto dalla corrente, presenta degl'incavi o dei rilievi corrispondenti. Di qui è nata in Jacobi l'ingegnosa idea di adoperare per electrodo negativo degli stampi di medaglie in rame o della lega di Arcet, e in questo modo è giunto a formare medaglie per mezzo della corrente. Chiamasi oggi quest'arte la *Galvanoplastica*. L'apparecchio il più comodo è quello della *Fig.* 137 : A è un recipiente di vetro, B un cilindro di membrana o un tubo di vetro che ha al fondo un tappo d'argilla o di membrana. Si mette nel vaso grande una soluzione satura di solfato di rame, nel cilindro una soluzione acida. Nel primo si mette il conio o stampo della medaglia saldato ad un filo di rame; questo stesso filo viene ad unirsi ad una lamina di zinco Z che pesca nell'acido. In una parola, è una pila elementare in cui i due liquidi dei due elementi sono tenuti separati. Si possono adoperare degli stampi di cera, gesso, zolfo, purchè si renda la loro superficie conduttrice o con foglia d'oro, o d'argento, o con uno strato di piombaggine. La corrente deve esser debole, perchè il rame si depositi lentamente e perchè le sue parti si riuniscano con un grado forte di coesione.

De la Rive, con un apparecchio analogo a quello di Jacobi, ha offerto alle arti un processo assai facile di dorare l'argento, e che va senza tutti i danni del processo generalmente adoperato. Nello stesso apparecchio della *Fig.* 137, in luogo della soluzione di solfato di rame, mettete una soluzione neutra d'idroclorato d'oro fatta aggiungendovi il cianuro di potassio, e invece della medaglia o stampo R mettete un pezzo qualunque d'argento. Per la stessa azione elettro-chimica, per cui il rame si depone sulla medaglia, l'oro si porta sul pezzo d'argento. Bastano pochi istanti d'immersione e di passaggio di corrente per ottenere una perfetta doratura.

LEZIONE LXV.

Azione della corrente elettrica sui corpi organizzati. — Usi medici dell'elettricità.

Per compiere l'esposizione degli effetti della corrente, convien dire ancora della sua azione sui corpi organizzati. In questo studio non dimentichiamo mai quali sono i fenomeni che la corrente elettrica produce sui corpi inorganici; non dimentichiamo neppure che riscalda i corpi per cui si muove, che li decompone in certe circostanze, che in alcuni casi vi esercita un'azione meccanica.

Esponendo gli effetti fisiologici della corrente giungeremo a riconoscere come essi differiscano dagli altri studiati sin qui, e per questa separazione verremo condotti a precisare come la struttura dei corpi organizzati, la loro organizzazione, la loro natura chimica, modifichino l'azione dell'elettricità sopra loro. È questo il punto di vista più filosofico delle ricerche fisiologiche, posciachè si tratta di stabilire come per l'organizzazione venga modificata l'azione delle grandi forze della natura, degli agenti fisici.

Non vi dirò che pochissimo dell'azione dell'elettricità sopra i vegetabili. Vero è che le Opere di Nollet, di Gardini, di Bertholon ec. sono piene di risultati curiosi ottenuti facendo agire in diverso modo l'elettricità nelle piante; ma un migliore esame e più accurate esperienze li hanno di già banditi dalla Scienza.

L'azione della corrente elettrica sui vegetabili si riduce a pochi fatti bene stabiliti. Eccovi sopra un panno inzuppato di una soluzione leggermente carica di solfato di potassa, sparsi dei semi di *amaranthus speciosus*. Le due estremità metalliche di una pila sono a contatto dell'estremità di questo panno. L'esperienza è in attività da poco più di 38 ore, e già vedete in piena germinazione quei semi che sono a contatto della estremità negativa: non è così di quelli che sono all'altro polo. Ho provato coll'esperienza che questa azione della corrente è secondaria, ed ecco di che guisa. Mettete gli stessi semi in tre capsule distinte: in una versate poche gocce di acqua leggerissimamente carica di potassa; in altra mettete acqua appena carica di un sale qualunque; nella terza bagnateli con acqua cui siasi aggiunta una goccia d'acido solforico. Lasciate questi semi alla temperatura ordinaria, e vedrete per primi germogliare i semi bagnati dall'acqua alcalina, poi quelli che sono nell'acqua salata, e infine quelli dell'acqua acida. Per poco che l'acqua sia acida, la germinazione non si fa più. È facile ora d'intendere l'azione della corrente: al polo negativo si raccoglie il potassio che scompone l'acqua e si converte in potassa, dalla quale sappiamo essere aiutata la germinazione: al polo positivo va l'acido che nuoce alla germinazione medesima. Pare che l'alcali, neutralizzando l'acido acetico che in questa funzione si produce, serva ad attivarla maggiormente.

Abbiamo ancora alcune recenti esperienze di Becquerel e Dutrochet sopra i movimenti della *chara*. Si sa che messo nel microscopio il fusto di questa pianta reso trasparente, si veggono dei globetti verdi animati da un movimento continuo di circolazione che si opera in uno spazio compreso fra due nodo diaframmi del medesimo. I due Fisici citati hanno fatta passare una corrente in un fusto di *chara* messo in osservazione sotto il microscopio, ed hanno osservato che in generale il movimento dei globetti s'indebolisce; e per poco che la corrente sia forte, il movimento cessa affatto. Tolta la corrente, il movimento ritorna; il che prova bene, che la corrente non ha agito disorganizzando e alterando gli organi della pianta e di quel movimento. Questa conclusione è anche resa più evidente adoperando una corrente debole: il movimento dei piccoli granellini s'indebolisce o cessa, e quindi si riproduce senza che la corrente sia tolta: di nuovo s'arresta, per poi ricominciare. La ripetizione delle quali alternative prova ad evidenza che vi è una specie di lotta fra la cagione qualunque che produce il movimento nella *chara* e il modo d'agire della corrente. Ma sulla cagione dei movimenti nella *chara* nulla si può conchiudere da cotesti risultati.

Vi dirò ancora che la corrente elettrica, la scarica della bottiglia, la scintilla della macchina, agiscono sulla *mimosa pudica*, sulla *mimosa sensitiva* come vi agiscono tutti gli altri stimoli.

Ma ci convien confessare che assai poco sappiamo dell'azione della corrente sui vegetabili. Ben sono più estese le nostre cognizioni rispetto all'azione stessa sugli animali.

In un quaderno trovato fra i manoscritti di Galvani, su cui è scritto da lui stesso *Esperienze sull'elettricità dei metalli*, colla

data dei 20 settembre 1786, è riportato un fatto che ha certamente influito nell'avanzamento delle Scienze, quanto le scoperte di Galileo e di Newton. Consiste questo fatto nella contrazioni che si eccitano in una rana di recente uccisa e preparata alla nota maniera del Galvani, allorchè con un arco composto di due metalli diversi se ne toccano i nervi ed i muscoli.

Non starò qui a dirvi come il Galvani interpetrasse questi fatti, ammettendo un'*elettricità animale* che l'arco metallico non faceva che scaricare. Dopo che il Volta ebbe provato coll'elettrometro che nel contatto di due metalli eterogenei le due elettricità si separavano, non vi fu più chi credesse all'elettricità animale del Galvani, e si ammise generalmente che le contrazioni osservate nella rana dal Galvani erano l'effetto semplice dell'elettricità svolta dai due metalli e stimolante il nervo che traversava. Nelle lezioni passate avete visto in che consista realmente l'elettricità animale, e vi siete persuasi che non a torto il Galvani l'ammetteva, poichè molti dei fatti da lui scoperti sono dovuti certamente ad elettricità generata negli animali.

Le contrazioni che si eccitano nella rana o in un animale qualunque, vivo o recentemente ucciso, allorchè una porzione d'uno dei suoi nervi è percorsa dalla corrente elettrica sviluppata dalla coppia voltiana, sono senza dubbio indipendenti da qualunque elettricità animale. È questo caso semplice dell'azione dell'elettricità sugli animali che cominceremo a studiare.

Nei primi tempi che succederono alle scoperte del Galvani e del Volta, ogni giornale, ogni libro parlava di fatti relativi a cotesta azione. Le contorsioni, i salti che presenta un animale recentemente ucciso, assoggettato ad una corrente elettrica abbastanza forte, fecero quasi sperare esser giunta la Fisica a ridonare la vita. Naturalmente non durò, e non poteva durare a lungo questa illusione; la Scienza rientrò nei suoi limiti. Valli, Lehot, Humboldt, Aldini, Bellingieri, Marianini e Nobili in questi ultimi tempi, studiarono l'azione fisiologica della corrente elettrica.

Non posso qui citarvi tutte le loro esperienze, e devo limitarmi ad esporvi questo soggetto quale si trova nello stato attuale della Scienza.

Scuopro in questo coniglio, che vedete stabilmente fissato colle sue quattro gambe sopra una tavola, il nervo sciatico di ambe le cosce, e lo separo, per quanto è possibile, dalle parti circostanti; l'asciugo con carta senza colla, e fo passare al di sotto del medesimo una striscia di *taffettà* gommato, in modo da isolarlo perfettamente dai sottoposti tessuti. Osservate cosa avviene allorquando fo passare lungo il nervo la corrente di una pila di 10 coppie applicandovi i due reofori alla distanza di pochi centimetri l'uno dall'altro, in modo che la direzione della corrente sia diretta dalla parte centrale alla periferica del nervo. Al chiudere del circuito tutti i muscoli della coscia si contraggono, l'animale strida, inarca fortemente il dorso, agita le sue orecchie.

Questi stessi fenomeni si riproducono, se, cambiando la respettiva posizione dei reofori, faccio in modo che la direzione della corrente vada inversamente alla prima, cioè dalla parte periferica alla parte centrale del nervo.

Ciò che vedete avvenire al chiudere del circuito si ripeta all'aprire del medesimo, cioè togliendo la comunicazione dei reofori col nervo, sia nel caso della prima direzione della corrente, essia della corrente *diretta*, sia nel caso della opposta direzione, ovvero della corrente *inversa*.

Mentre il circuito sta chiuso, qualunque sia la direzione della corrente, l'animale non mostra alcuno di questi fenomeni. Vedremo più innanzi in che consista l'azione della corrente nel tempo del suo passaggio pei nervi.

Se la corrente è applicata al nervo in maniera da traversarlo, invece che percorrerlo, non si hanno nè contrazioni nè segni di dolore.

Ripetendo le sperienze riferite sopra diversi individui si trova, in generale, che i segni del dolore manifestati dall'animale sono più forti al cominciare della corrente inversa, e che le contrazioni le più forti si fanno vedere al cominciare della corrente diretta.

La prima azione della corrente elettrica su i nervi d'un animale vivo, come l'interrompersi della medesima, danno luogo alli stessi fenomeni, qualunque sia la direzione della corrente nel nervo; se non che si osserva costantemente, che le contrazioni le più violente sono quelle che si eccitano al cominciare della corrente diretta. Se un uomo, come osservò il Marianini, chiude il circuito d'una pila d'un certo numero di elementi, toccando con una mano un polo, coll'altra l'altro polo, la scossa la più forte la risente sempre nel braccio sinistro, in cui la corrente è diretta.

Continuando ad esperimentare sullo stesso animale non tarderete ad accorgervi, che i descritti fenomeni non hanno più luogo, e che dopo un certo tempo, tanto più breve quanto più è intensa la corrente, l'animale non vi darà più indizio del passaggio della

corrente stessa. Ma lasciando l'animale per qualche tempo in riposo, o raddoppiando le forza della corrente, si vedono riprodurei i primi fenomeni.

Studiando intanto i fenomeni che avvengono a misura che l'azione della corrente sull'animale si prolunga prima di cessare del tutto i segni del passaggio della corrente stessa, osserverete che allorchè la corrente diretta è interrotta, le contrazioni dei muscoli inferiori, ossia di quelli collocati al disotto del punto cui è applicata la corrente, divengono più deboli, mentre che sussistono ancora nei muscoli del dorso e che persiste l'agitarsi delle orecchie e sovente il grido dell'animale. Quando questa corrente comincia, gli effetti sono limitati alle contrazioni dei muscoli inferiori. Nel caso della corrente inversa le contrazioni dei muscoli del dorso, i movimenti delle orecchie, e quasi costantemente il grido, hanno luogo al chiudere del circuito, mentre le contrazioni nei muscoli inferiori si mostrano appena sensibili: al contrario all'aprirsi del circuito sussistono le contrazioni dei muscoli inferiori, e intanto quelle del dorso e i movimenti delle orecchie sono scomparsi, e l'animale non stride più. Malgrado un grandissimo numero di esperienze che ho potuto fare, mi sarebbe impossibile poter precisare in qual ordine cominciano a scomparire questi fenomeni.

Conviene dunque ridurre a due periodi l'azione della corrente elettrica che eccita i nervi d'un animale vivente: nel primo periodo l'eccitazione del nervo è trasmessa in tutte le direzioni, tanto verso la sua parte centrale come verso la sua parte periferica, e ciò tanto al momento della sua prima azione come al suo cessare, ed indipendentemente dalla direzione della corrente; nel secondo periodo l'eccitazione del nervo si propaga verso la sua estremità periferica al cominciare della corrente diretta, e all'interrompersi della corrente inversa: al contrario l'eccitazione del nervo è trasmessa verso il cervello, allorchè la corrente diretta è interrotta o quando la corrente inversa comincia.

Posso esprimere questi resultati in termini più semplici: la corrente agisce nel senso della sua direzione quando comincia a passare per il nervo, e nel senso contrario della sua direzione quando cessa di passarvi.

Facciamoci ora a studiere come la corrente elettrica può produrre le contrazioni nei muscoli del dorso e della testa agendo, come negli esperimenti che avete visto, sopra un nervo che non si ramifica in questi muscoli, e come ci sia possibile, in opposizione alle idee generalmente ammesse, di darci ragione della contrazione muscolare prodotta da una eccitazione che opera in senso retrogrado sul nervo.

Se tagliate in un coniglio la midolla spinale trasversalmente, e fate passare per il suo nervo crurale una corrente elettrica, osserverete che le contrazioni si riducono ai muscoli che si trovano al di sotto del punto ove venne tagliata la midolla spinale; e se tagliate la midolla spinale verso la sua estremità inferiore, non vi sarà più contrazione alcuna nei muscoli posti superiormente al nervo eccitato.

I movimenti dunque eccitati nei muscoli collocati superiormente al nervo eccitato da una corrente elettrica, sono *movimenti riflessi*. L'eccitazione del nervo vien trasmessa alla midolla spinale, la quale per un'azione reflessa determina la contrazione nei muscoli che ricevono i nervi dalla medesima. Diremo perciò che la eccitazione del nervo, sul principio centripeta, si trasforma poi in una eccitazione centrifuga.

Abbiamo fin qui esposto le leggi dell'azione della corrente elettrica sopra i nervi d'un animale vivente; passeremo ora a parlare di quest' azione della corrente sopra gli animali uccisi di fresco.

Operando colla corrente d'una sola coppia sopra conigli recentemente uccisi e preparati come nelle esperienze precedenti, si ha la contrazione dei muscoli inferiori al cominciare della corrente diretta e all'interrompersi della corrente inversa. Adoperando una corrente più forte si ottengono le contrazioni nei muscoli suindicati, tanto al cominciare quanto all'interrompersi della corrente, qualunque sia la direzione della medesima. Continuando a far passare la corrente per un certo tempo si termina con ottenere contrazioni al cominciare della corrente diretta, e all'interruzione della corrente inversa.

Si riesce in qualche caso, e nei primi istanti del passaggio della corrente, a ottenere le contrazioni nei muscoli superiori ai punti del nervo eccitato, le quali presto cessano, e non si ottengono mai che con correnti molto intense ed agendo sopra animali recentissimamente uccisi, e nei quali fu conservata l'integrità del sistema nervoso.

Questi fenomeni si verificano anche negli altri animali, e si mostrano distinti principalmente nella rana.

Eccovi una rana preparata alla solita maniera del Galvani, alla quale di più si sono tolte le ossa del bacino e le vertebre lombari: la rana così epaccata è messa a cavalcioni sopra due capsule piene d'acqua a pescarvi colle sue gambe. Immergendo i due

reofori d'una pila di poche coppie nelle due capsule, vedrete da prima la rana sbalzar fuori; e se si ritiene con forza in posizione si hanno le contrazioni nelle due gambe, tanto all'aprire quanto al chiudere del circuito, e perciò tanto nel membro in cui la corrente è diretta, quanto in quello in cui è inversa. Ma se si continua ad agire, non si tarda a scorgere il cambiamento descritto, cioè al chiudere del circuito un solo membro si contrae, ed è quello in cui la corrente è diretta, mentre all'interrompersi si contrae l'altro, quello cioè in cui la corrente è inversa. Questa successione di fenomeni può ritardare più o meno ad apparire, e ciò secondo la forza della corrente e la vivacità dell'animale, ma non manca mai. Eccovi così la rana non solo sensibilissimo galvanoscopio, ma di più lo strumento che fa in parte l'officio del galvanometro, potendo com'esso indicarvi la direzione della corrente che scorre una porzione di un suo nervo.

Il Marianini ha mostrato che le contrazioni all'aprirsi del circuito, ossia all'interrompersi della corrente, persistono tanto più lungamente quanto più prolungato fu il passaggio della corrente stessa.

Allo stesso illustre Fisico si deve pure l'osservazione, che le contrazioni si ottengono all'interrompersi del circuito, senza averle ottenute al suo chiudersi. Per realizzare questo sperimento basta di disporre una rana nel circuito di una pila, e di chiudere poi il circuito, toccando con una mano il polo della pila, e tuffando le dita dell'altra mano nel liquido in cui pesca una delle estremità della rana. Nel primo modo l'intensità della corrente che circola è debolissima, e va sempre crescendo a misura che il dito s'imbeve del liquido; la rana non si risente perciò alla prima introduzione di una corrente debolissima.

Fin qui abbiamo agito colla corrente sui soli nervi degli animali, ed abbiamo stabilite le leggi di quest'azione. Abbiamo pure studiato il caso della corrente che scorre lungo l'intero animale, percorrendo ad un tempo nervi e muscoli. Ci rimane a dire dell'azione della corrente sulla sola fibra muscolare.

Egli è facile di concepire quanto questa ricerca sia difficile, giacchè quando anche si son tolti ad un muscolo tutti i filamenti nervosi visibili, compresi quelli che si scorgono colla lente, non si può mai sperare che ogni traccia di sostanza nervosa gli sia così tolta. Nulla di meno è sul muscolo spogliato di nervi come si può, che ci è dato di agire; ed eccone i risultati.

Facendo passare la corrente di una pila di 20 a 30 coppie per un muscolo pettorale di un piccione, per esempio, spogliato dei suoi nervi, come si è detto, si vede sempre contrarsi il muscolo si chiudere del circuito. Questa contrazione però non dura che un istante, e sembra consistere in una specie di raccorciamento delle fibre.

Qualunque sia la direzione della corrente relativamente a quella delle fibre muscolari, il fenomeno è sempre lo stesso.

Tenendo chiuso il circuito e continuando l'azione della corrente, il muscolo non si contrae più; riaprendolo, ricompariscono le contrazioni, che sono però più deboli che al cominciare della corrente; ed ove il passaggio della corrente sia stato prolungato per un certo tempo, al cessare della medesima le contrazioni mancano interamente.

In generale si può stabilire, che le contrazioni al chiudersi del circuito persistono più a lungo di quelle che si producono all'aprirsi del medesimo, e che, aumentando l'intensità della corrente, spesso si vedono queste ultime ricomparire per qualche tempo.

Si può dunque conchiudere, che la corrente elettrica che agisce sopra una massa muscolare, alla quale furono tolti i filamenti nervosi visibili, vi eccita una specie di contrazione, tanto al chiudersi, come all'aprirsi del circuito, qualunque sia d'altronde la direzione della corrente relativamente a quella delle fibre muscolari, e che la contrazione all'aprirsi del circuito è la prima a scomparire.

Ponendo mente alla conducibilità dei muscoli per l'elettricità, maggiore di quella dei nervi, si può dire anche *a priori*, che data una corrente di una determinata intensità, le contrazioni da essa eccitate agendo direttamente sopra una massa muscolare fornita dei suoi nervi, debbano essere più forti che quelle eccitate sulla stessa massa spogliata di nervi.

Mi rimane a dirvi di alcune cagioni e circostanze, le quali modificano l'azione della corrente elettrica sopra i nervi ed i muscoli degli animali viventi, o recentemente uccisi.

Le *alternative voltiane* di cui passo a parlarvi, sono dovute al passaggio stesso della corrente nel nervo. Ed eccovi in che modo. Se si mette a cavalcioni di due bicchieri contenenti acqua salata una rana preparata alla maniera sopra descritta, e si chiude nel circuito di una pila, si comprende di leggieri essere uno dei suoi membri percorso dalla corrente inversa e l'altro dalla corrente diretta. Sapete ciò che avviene in questa esperienza? la rana si contrae tanto al chiudersi come all'aprirsi del circuito, ma dopo un certo tempo le contrazioni non

sono ugualmente intense in ambe le gambe. Il membro percorso dalla corrente diretta si contrae maggiormente al principiar della corrente; quello percorso dalla corrente inversa si contrae più fortemente all'aprirsi del circuito.

Lasciando chiuso per qualche tempo il circuito ed indi riaprendolo, avete visto già come non si manifestino più le contrazioni, e come non si rinnovino nemmeno al chiudersi di nuovo.

Ora se ridotta la rana a questo stato, si inverte la posizione dei reofori relativamente all'estremità della medesima, oppure si inverte la posizione della rana in modo, che il membro che pescava in un bicchiere peschi nell'altro e viceversa, e si chiude nuovamente il circuito, vedonsi ricomparire le contrazioni, come si veggono ricomparire aprendolo di nuovo.

Se cessato che abbia la rana di contrarsi per il prolungato passaggio della corrente la rimettete nella sua prima posizione, oppure cambiate di nuovo la posizione dei reofori, le contrazioni si riproducono come prima.

Il passaggio stesso della corrente è dunque una cagione che modifica l'azione della corrente sui nervi e sui muscoli degli animali. La corrente elettrica modifica l'eccitabilità nei nervi talmente da renderli dopo qualche tempo insensibili al suo passaggio in una data direzione, senza però renderli inetti a risentirne la sua azione allorchè s'inverte la sua direzione.

Queste alternative si ripetono più volte di seguito sullo stesso animale, e gli intervalli di tempo necessari fra l'un passaggio e l'altro onde prodursi il fenomeno, dipendono dall'intensità della corrente e dalla vivacità dell'animale stesso.

Vi ha un'altra cagione d'indebolimento dell'eccitabilità dei nervo al passaggio della corrente, e che è indipendente dalle alternative voltiane. Se si fa passare una corrente per il nervo d'una rana preparata alla maniera di Galvani e se ne prolunga l'azione per qualche tempo, si vedranno finalmente cessare le contrazioni, sì al chiudersi come all'aprirsi del circuito; ma se si applicano i reofori ad una porzione del nervo più lontana dal cervello di quello lo sia la prima porzione, su cui si è agito da principio, si vedranno tosto ricomparire le contrazioni secondo le leggi superiormente esposte. Scuoprite una nuova porzione di nervo sempre più lontana dai cervello, ed otterrete gli stessi effetti. Si direbbe adunque che l'eccitabilità dei nervo a produrre la contrazione per la corrente elettrica, va ritirandosi verso la parte periferica mano mano che la sua vitalità va perdendosi.

Allorchè si opera nel modo or ora indicato sopra un animale vivo, si vede, che i segni del dolore manifestati dal medesimo quando sopra i suoi nervi agisce una corrente elettrica, si ottengono se si agisce sopra parti del medesimo sempre più vicine al cervello, quanto più la sua vitalità s'indebolisce.

Era importante di esaminare l'azione della corrente sugli animali avvelenati. A questo fine ho fatto un gran numero di sperimenti, dei quali vi dirò i principali risultati.

I metodi da adoperarsi per conoscere l'effetto che i diversi veleni producono sull'eccitabilità dei nervi al passaggio della corrente elettrica possono ridursi a quello che consiste nel tener conto del numero delle coppie voltaiche necessarie ad eccitare le contrazioni nelle rane avvelenate e nelle altre lasciate intatte, o meglio assai a quello che consiste nel paragonare il tempo necessario perchè il passaggio d'una data corrente distrugga totalmente l'eccitabilità dei nervi in un animale avvelenato ed in un altro ucciso nel modo ordinario.

Gli animali avvelenati nell'idrogene, nell'azoto, nell'acido carbonico, nel cloro, ed anche nell'idrogene solforato non presentano diversità sensibile nel loro grado d'eccitabilità alla corrente elettrica, da quello degli altri animali che non provarono l'azione di questi gas. Non così può dirsi di quegli animali uccisi coll'acido idro-cianico o con un certo numero di scariche elettriche di una grande batteria fatte passare attraverso la midolla spinale. In questi casi la corrente d'una coppia sola ed anche d'un certo numero di coppie applicate su i nervi dell'animale, o non eccita alcuna contrazione, o bastano pochi secondi di passaggio della corrente per il nervo, perchè venga distrutta affatto la sua eccitabilità. Intanto però la stessa corrente applicata ai soli muscoli vi sveglia contrazioni abbastanza sensibili, ciò che prova, come già vi dissi, doversi ammettere nella fibra muscolare la proprietà a contrarsi sotto il passaggio della corrente indipendentemente dal nervo.

Mi resterebbe a dire degli effetti della corrente elettrica sugli animali narcotizzati; ma di questi credo più opportuno parlarvene a proposito degli usi terapeutici della corrente elettrica.

Fra le cagioni che modificano l' azione della corrente elettrica v'è infine la legatura del nervo. Scuopro ed isolo sopra un coniglio il nervo crurale, ed alla metà circa

del nervo scoperto fo una legatura. Ho cura, nello stringere il nodo, d'arrestarmi al momento lo cui veggo cominciare le contrazioni nella gamba; allora applicando al disopra della legatura, cioè verso il cervello, i due reofori d'une pila ad una certa distanza fra loro, ottengo le contrazioni del dorso ed i segni del dolore, tanto all'aprire che al chiudere del circuito, sia colla corrente diretta, sia coll'inversa. Poco dopo questi effetti si limitano al cominciare della corrente inversa e al cessare della corrente diretta. Se poi applico i duè reofori al disotto della legatura, ho da prima le contrazioni della gamba all'aprire e al chiudere della corrente diretta e dell'inversa, e al solito dopo un certo tempo non si veggono più che le contrazioni al principio della corrente diretta e alla fine dell'inversa: sempre però le contrazioni sono maggiori per le corrente diretta. La legatura del nervo fin qui studiata non agisce dunque che isolando gli effetti della corrente, cioè producendo separatamente quelli della sua azione su i centri nervei da quelli che ha agendo sulle estremità dei nervi. È inutile il dire che se si opera sull'animale morto, i segni del dolore non possono aversi.

Onde non cadere in errore in queste sperienze, convien tenere il nervo ben isolato dalle parti umide che lo circondano, e stringere convenientemente la legatura. Il meglio è di operare sulla rana preparata al modo solito, sospendendola per il suo nervo. In questa maniera non può più cader dubbio che le parti umide sottostanti al nervo servano a condurre una porzione della corrente al di fuori dell'intervallo che separa i due reofori. Senza questa precauzione una porzione della corrente può passare o al disopra o al disotto della legatura, secondo che i poli sono applicati al disotto o al disopra della legatura stessa, e così si può venire indotti in errore.

Nel caso che i reofori siano applicati uno al disopra e l'altro al disotto della legatura, la corrente non essendo arrestata e solo venendo indebolita per il difetto di conducibilità che induce la legatura nel nervo, i fenomeni sono gli stessi, come se la legatura non vi fosse, o tutto al più non sono che indeboliti.

Per compiere questa lezione non avrei più che a dirvi degli effetti che la corrente elettrica produce applicata sulle diverse parti del cervello, sui nervi dei sensi, sulle radici dei nervi spinali e sui nervi gangliopari. Duolmi però che un soggetto così importante non sia stato ancora convenientemente studiato.

Può dirsi che tutto rimane ancora a sapersi, e ve lo proveranno le pochissime cose che potrò dirvene.

Ho provato ad applicare i reofori di una pila, anche di molte coppie, sopra gli emisferi cerebrali e sul cervelletto di un animale vivo; ho provato e farli penetrare nella polpa di questi organi; ma non vidi mai nè scosse nè segni di dolore nell'animale.

Giungendo però coi reofori a far passare la corrente nei corpi quadrigemini, nelle radici del cervello, nella midolla allungata, allora si ottengono scosse forti per tutto il corpo, e l'animale stride.

Questi effetti continuano, benchè indebolendosi, anche a circuito chiuso, e non ho mai visto che insorgessero all'aprirsi del circuito. Dopo ciò che abbiamo visto accadere agendo sui nervi, tali effetti sembrano singolari. Vorrei però che fossero meglio studiati; ciò che non può farsi senza una gran pratica nelle vivisezioni.

Si è fatta passare la corrente per il nervo ottico di un animale vivo, e non si ebbero nè grandi contrazioni dei muscoli, nè segni di dolore. Toccando sopra se stesso colle estremità di una pila, anche elementare, l'orecchio e l'occhio, oppure l'orecchio e la lingua, o finalmente l'occhio e la lingua, si hanno le sensazioni d'un suono, d'un bagliore, d'un sapore particolari. Queste sensazioni non sembrano dipendere che da una azione esercitata dalla corrente elettrica sopra i nervi sensori di quegli organi, e non da contrazioni svegliate nei muscoli attenenti ai medesimi; poichè una corrente debolissima, che non è capace di eccitare i più piccoli movimenti muscolari, è sufficiente a produrle; nè il sapore in particolare può esser dovuto all'impressione esercitata sulla lingua dai prodotti dei sali della saliva scomposti dalla corrente, dappoichè una corrente debolissima, e perciò insufficiente a produrre quella decomposizione, è capace di eccitare la sensazione del sapore.

Una parola, in fine, sull'azione della corrente sui nervi del sistema ganglionare. Le pochissime cose che sappiamo su questo proposito le dobbiamo al Sig. Humboldt.

Allorchè si fa passare una corrente elettrica attraverso il cuore d'un animale ucciso di recente, pochi istanti dopo che hanno cessato le sue pulsazioni, si osserva ripigliare quest'organo i suoi ordinari movimenti, qualche tempo dopo che principiò a passare la corrente, e questi movimenti continuare anche per qualche tempo dopo cessato il passaggio della medesima.

Se in vece di aspettare che i movimenti naturali del cuore sieno totalmente estinti, si fa passare la corrente allorchè questi sono sufficientemente indeboliti, si vedono al-

lora farsi più frequenti dopo che la corrente ha agito per qualche istante, e continuare così per un certo tempo, tolta anche l'azione della corrente.

Questi medesimi effetti si osservano nel moto vermicolare delle intestina, nelle quali si faccia passare la corrente.

Se rifletterete all'importanza che ha il sistema ganglionare nell'esercizio delle *funzioni organiche* degli animali, comprenderete di leggieri quanto su questo soggetto ci resti a sapere.

La differenza d'azione che spiega la corrente su i nervi della vita di *relazione* e su quelli della vita organica è già molto notabile.

Nei primi i suoi effetti si mostrano nei soli istanti in cui essa comincia ed in cui cessa di agire; mentre nei secondi gli effetti tardano a comparire, continuano durante il suo passaggio, e persistono anche dopo che dessa ha cessato di agire.

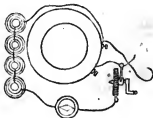
Fin qui abbiamo studiato l'influenza esercitata sull'eccitabilità dei nervi dal passaggio della corrente elettrica continua. Ne resta ora a vedere quali effetti produce una corrente interrotta più volte di seguito, in modo da rinnovarsi il suo passaggio per il nervo a piccolissimi intervalli di tempo.

Fisso a questo fine una rana preparata al modo solito sopra una tavola per mezzo di piccoli chiodi; lego ad uno dei chiodi uno dei reofori della pila, e coll'altro reoforo tocco un altro chiodo più volte di seguito, chiudendo così ed aprendo successivamente il circuito.

La rana tende i suoi membri e sembra presa da convulsioni tetaniche, sia diretta oppure inversa la corrente che così interrottamente s'introduce in essa.

In una rana tetanizzata per i ripetuti passaggi della corrente elettrica, l'eccitabilità dei nervi resta molto indebolita, relativamente ad un'altra nella quale sia stata fatta passare una corrente continua. Ho fatto più volte questo sperimento comparativo sottomettendo due rane ugualmente preparate, una al passaggio d'una corrente continua di quarantacinque coppie, e l'altra alla corrente d'una pila simile, la di cui azione però veniva rinnovata a cortissimi intervalli. L'esperienza durava da dieci o quindici minuti in ambe le rane. Sottomettendo quindi separatamente le due rane al passaggio di una corrente che introduceva pei nervi lombari, osservava esser d'uopo di un maggior numero di coppie per far contrarre la rana che era stata precedentemente sottoposta alla corrente interrotta. Mi assicurai anche della differenza dell'eccitabilità delle due rane, sottomettendole nel tempo stesso al passaggio d'una corrente continua; la perdita era sempre maggiore nella rana che aveva di già subita l'azione della corrente interrotta.

Marianini si è anche assicurato confrontando due rane, l'una delle quali è percorsa da una corrente continua sempre nel medesimo senso, e l'altra da una simile corrente, diretta ora in un senso, ora nell'altro, che nella prima l'eccitabilità dei nervi rimaneva esaurita per il passaggio della corrente, più che nell'altra.

Questo grande esaurimento dell'eccitabilità dei nervi per il passaggio della corrente rinnovata a cortissimi intervalli di tempo viene più particolarmente dimostrato dalle sperienze di Masson. Ecco l'apparecchio col mezzo del quale questo Fisico è giunto ad eccitare un gran numero di scosse elettriche in un tempo brevissimo. Consiste in una ruota metallica, fissa a un asse parimente metallico, la quale si fa girare per mezzo d'un manubrio e sopra due cuscinetti amalgamati. Uno di questi cuscinetti è in comunicazione con uno dei poli

della pila, e l'altro polo è in contatto con un filo il quale, dopo essersi avvolto a spirale su di un cilindro di ferro dolce, comunica con una lastra metallica fissa, la quale viene urtata successivamente dai denti della ruota.

Girando la ruota si chiude il circuito a ciascun contatto della lastra metallica con un dente, e s'interrompe nell'intervallo che divide due contatti successivi. Toccando colle mani bagnate le due estremità del conduttore situate ai lati del punto ove si chiude e si apre il circuito, si prova una successione di scosse molto forti. Quando la velocità di rotazione è molto grande, queste scosse producono nelle braccia una sensazione di tensione dolorosa, la quale fa sì che lo sperimentatore non possa lasciare i conduttori che ha nelle mani, e lo costringono anzi a stringerli fortemente.

Masson ha potuto con questo apparecchio

e con una pila d'un piccolo numero di elementi, uccidere un gatto in cinque o sei minuti.

È importante il fatto scoperto dallo stesso Masson, che la sensazione e le scosse scompaiono quando la velocità con cui gira la ruota è molto grande. Pouillet ha trovato, che allorquando la durata dell'intervallo tra una scossa e l'altra era di circa 1/300 di secondo non si giungeva più a distinguere l'interruzione della corrente, per cui l'effetto era lo stesso di quello d'una corrente continua.

Eccovi un coniglio che assoggetto al passaggio d'una corrente interrotta, adoprando la ruota di Masson. Le due estremità della corrente gli sono applicate nella bocca e su i muscoli del dorso. Benchè la pila non sia che di dieci coppie, il coniglio muore dopo pochi secondi del passaggio così interrotto della corrente.

Non terminerò questa lezione senza parlarvi dell'applicazione terapeutica della corrente elettrica, poichè dessa si fonda su i principi scientifici che vi ho esposto.

Indipendentemente da qualunque idea teoretica e da ogni ipotesi sulla forza nervosa, dobbiamo ammettere, che in certi casi almeno di paralisi i nervi siano alterati in un modo analogo a quello che sarebbe in essi accaduto per il passaggio continuo della corrente elettrica. Abbiamo veduto che per ridonare a un nervo l'eccitabilità al passaggio della corrente, dopochè l'ha perduta per il passaggio prolungato della stessa corrente, bisogna servirsi d'una corrente diretta in senso inverso a questa. Parimenti, per far cessare la paralisi, si dovrà far passare una corrente in senso contrario a quella che l'avrebbe potuta produrre. Si vede da ciò, che noi supponghiamo che la paralisi la quale si deve sottomettere al trattamento elettrico sia o del solo movimento, o della sola sensibilità. Così, per una paralisi di movimento converrebbe applicare la corrente inversa, mentre per una paralisi della sensibilità si dovrebbe usare la corrente diretta. Nel caso di una paralisi completa non v'ha più ragione alcuna per decidersi piuttosto per la corrente diretta che per l'inversa; se pure non si voglia calcolare quale delle due indicate funzioni è stata la prima ad alterarsi.

Non vi lascerò ignorare alcune regole che credo importanti nell'applicazione della corrente elettrica nella cura della paralisi. Cominciate in ogni caso da una corrente molto debole. Questa regola mi sembra oggi più importante di quello che non la credeva prima d'aver veduto un paralitico cadere in convulsione decisamente tetaniche per l'azione d'una corrente d'una sola coppia.

Abbiate cura di non prolungare mai troppo il passaggio della corrente, e ciò tanto più, quanto è più intensa la corrente che adoperate. Applicate la corrente interrotta, piuttosto che la corrente continua; ma, dopo 20 o 30 scosse al più, lasciate il malato per alcuni istanti in riposo.

Gli apparecchi che potrete adoprare nella cura elettrica sono vari. La pila a corona di tazze è in generale il migliore, o almeno il più comodo degli strumenti; giacchè con essa è assai facile il toglier delle coppie, e di variare la conducibilità del liquido. Se vorrete usare la corrente interrotta con una certa regolarità, potrete ricorrere alla ruota di Masson che v'ho mostrato. Magendie si serve della macchina elettro-magnetica di Clark, i di cui effetti possono moderarsi con un'ancora di ferro dolce, applicata su i due poli della calamita. Potrete adoperare per reofori due striscie di lamina di piombo o di rame, e cuoprirete con un pannolino imbevuto d'acqua salata le estremità che vanno applicate sulla cute. In qualche caso potrete servirvi degli aghi che si adoprano per l'agopuntura come estremità dei reofori.

Le storie delle guarigioni di paralisi col trattamento elettrico degne di fiducia, sono già in numero sufficientemente grande per incoraggiare i medici e gli ammalati nella perseveranza che è necessaria nell'applicazione della corrente elettrica, senza di cui non v'è speranza di buon resultato.

Un'altra malattia per la quale si è proposta l'applicazione della corrente elettrica, è il tetano. Credo essere stato il primo a tentare questa applicazione nell'uomo.

Eccovi su quali principi è fondato l'uso della corrente elettrica nella cura del tetano. Una corrente che passi interrottamente per qualche tempo nei nervi d'un animale produce le contrazioni tetaniche; una corrente continua produce, al contrario, la paralisi dopo qualche tempo del suo passaggio. Era dunque naturale il dedurre che il passaggio continuo d'una corrente per un membro tetanizzato avrebbe distrutto questo stato, riducendolo a quello di paralisi. La verità di questa deduzione è dimostrata dall'esperienza. Agendo sopra rane tetanizzate con narcotici o con acido idrocianico si vede, sotto il passaggio continuato d'una debole corrente elettrica, lo stato tetanico cessare. Le rane muoiono senza quelle convulsioni che mostrano quando non vengono assoggettate all'azione della corrente.

L'applicazione della corrente elettrica in un caso di tetano, da me pubblicato nel Maggio del 1838 nella *Bibliothèque Universelle*, sembrami provare la giustezza delle indicate conclusioni teoretiche. Durante il tem-

po del passaggio della corrente elettrica, l'ammalato non presentava le solite violente scosse, poteva aprire e chiudere la bocca, la circolazione e la traspirazione sembravano ristabilirsi. Per disgrazia il miglioramento non durò a lungo: la malattia era cagionata e mantenuta dalla presenza di corpi estranei nei muscoli della gamba. Forse nei tetani non traumatici la cura elettrica potrà avere migliori risultati, e in ogni caso non è poco l'alleviare i patimenti in una malattia così dolorosa.

Vi dirò infine che in quest' ultimi tempi si è proposta la corrente elettrica nella cura dei calcoli e della cateratta. Basta però il riflettere alla insolubilità nell'acqua delle sostanze che contengono i calcoli per persuadersi, non esser punto fondata una simile applicazione. Quanto alla cateratta vi farò notare, che invertendo la posizione dei poli d'una corrente fatta passare per una massa d'albumina, non ho mai veduto ridisciogliersi attorno al polo negativo l'albumina che era stata coagulata al polo positivo. È dunque possibile colla corrente di produrre una cateratta, ma non già di distruggerla.

LEZIONE LXVI.

Elettricità atmosferica. — Temporale. — Elettricità delle nubi. — Fenomeni del temporale. — Grandine. — Tromba.

Tratterò in questa lezione dei fenomeni elettrici che si producono nell' atmosfera. I quali m' è parso meglio di esaminare da sè, essendochè questa classe di fenomeni non può, nello stato attuale della scienza, collocarsi convenientemente in alcuna delle parti in cui abbiamo diviso il Trattato dell' Elettricità: ho perciò creduto meglio di studiarla a parte. Possediamo diversi strumenti per scoprire la presenza dell' elettricità nell' atmosfera. Tutte le volte che un elettroscopio comune a paglie o a foglie d' oro (*Fig.* 78, 80, 101) trovasi del tutto immerso in un mezzo egualmente elettrizzato, e che quindi l' aria, la palla, le foglie, le strisce metalliche n le verghe *a* e *b* (*Fig.* 101), il fondo . . . sono allo stesso grado di tensione elettrica, non v' è alcuna divergenza nelle foglie. Ond'è che per esplorare l'elettricità dell' atmosfera convien mettere le foglie o paglie dell' elettroscopio in comunicazione con uno strato d' aria, più carico di elettricità di quello che non lo è il resto dell' istrumento. Si usa perciò di sollevare punte metalliche in diversi modi, e di metterle, tenendole bene isolate dal suolo e dai sostegni, in comunicazione coll' elettroscopio. Un cervo volante munito di una punta metallica, la cui fune contenga un filo pure metallico che comunica colla punta e dall' altra parte finisce all' elettroscopio, serve bene alle ricerche di elettricità atmosferica. Con questo strumento il celebre Franklin dimostrò il primo l'identità dei fenomeni elettrici con quelli del fulmine. Il Padre Beccaria adoperava delle verghe metalliche fisse terminate in punta e disposte in modo da potersi stabilire a volontà la comunicazione col suolo, oppure cogli elettroscopî. Possono ancora fissarsi le punte metalliche a razzi, e così alzarle, obbligandole a portar seco la corda conduttrice. Volta sostituì a questi mezzi il suo apparecchio a fiamma, di cui ho già parlato. Allorchè l' aria è tranquilla, l' elettroscopio a fiamma è molto utile. Ho lo adoperato ancora, in luogo della fiamma, un cilindro di fosforo, contenuto in un tubo di vetro e scoperto per un piccol tratto alla sua estremità superiore. In qual modo questi diversi istrumenti agiscono? Abbiamo visto che l'elettricità fuggiva elettrizzata dai conduttori della macchina, e che il vapore acqueo era assai buon conduttore dell'elettricità. In qualunque modo l'aria e il vapore, specialmente condensato, sieno elettrizzati, è certo che agiranno come qualunque conduttore elettrizzato sui corpi che si trovano nella loro sfera d'influenza elettrica. Tutte le osservazioni fatte tendono a stabilire, che un certo grado di umidità è necessario perchè gli strumenti elettroscopici mostrino i segni di elettricità nell'atmosfera; laonde possono questi attribuirsi ad una induzione esercitata dallo strato dell'atmosfera che è elettrizzato. Peltier cercò di stabilire che la terra agisce costantemente come un corpo potentemente elettrizzato negativamente, e lo spazio celeste come elettrizzato positivamente, e che perciò sono elettrizzati per influenza tutti i corpi interposti. La quale sua ipotesi sarebbe fondata sopra il fatto scoperto da Saussurre, di un elettroscopio che dava or segni d'elettricità positiva, or nessun segno, or segni d'elettricità negativa, portandolo da una data stazione ad una successivamente più alta o più bassa. L'esistenza però di questo stato elettrico planetario si può difficilmente ammettere. Ci basta per ora di stabilire, che gli elettroscopi atmosferici sono elettrizzati per influenza o dalle nubi elettrizzate, o dagli stati elettrici più forti che si trovano sparsi nell' alto dell' atmosfera.

I risultati di un grandissimo numero d'osservazioni fatte sullo stato elettrico dall'atmosfera a ciel sereno, sono i seguenti:

1.° Gli elettroscopi sollevati a diverse altezze nell'atmosfera a ciel sereno, danno costantemente segni di elettricità positiva.

2.° Crescono questi segni coll'elevazione, e a misura che si fa l'esperienza in un luogo spazioso e non circondato da case, monti, alberi ec.: sotto gli alberi mancano affatto i segni d'elettricità atmosferica.

3.° Sono maggiori i segni di elettricità atmosferica nell'inverno che nell'estate.

4.° I segni di elettricità che si hanno nei giorni sereni variano d'intensità quattro volte al giorno: vi sono cioè due massimi e due minimi. Un primo minimo si osserva due ore innanzi che s'alzi il sole: un primo massimo qualche ora dopo che il sole s'è alzato: un secondo minimo due ore circa prima della calata del sole: un altro massimo qualche ora dopo la calata del sole.

Le variazioni ordinarie dell'umidità atmosferica nel giorno, bastano per spiegare questi risultati. Verso la fine della notte una gran parte dell'elettricità degli strati, specialmente inferiori, dell'atmosfera, si scarica sul suolo per l'umidità che è sul suolo stesso e per la buona conducibilità che quegli strati d'aria acquistano per essere saturi di vapore aqueo. Gli strati molto alti non variano di umidità, ma sono troppo lontani per influire sopra gli elettroscopi ordinari non molto elevati: e questa è la cagione del primo minimo. Alzato il sole, la terra comincia a scaldarsi; gli strati inferiori non sono più saturi di umidità, l'elettricità degli strati superiori può scaricarsi sugli strati sottoposti nei quali è immerso l'elettroscopio, e questi strati hanno tanto vapore aqueo da condurre l'elettricità degli strati sovrapposti, senza che interamente si scarichi sul suolo. Sono queste le condizioni che danno il primo massimo di elettricità atmosferica. Più tardi l'azione solare rende sempre più secca l'aria; gli strati superiori divengono sempre più isolati dagli strati inferiori, e l'elettroscopio, per la troppa scabrezza dell'aria in cui è immerso, dà un minimo di segni di elettricità. Di nuovo al calar del sole gli strati inferiori meno riscaldati si accostano a poco a poco al grado di saturazione di umidità, e sono atti di nuovo a lasciar passare l'elettricità degli strati superiori sugl'inferiori, e quindi a trasmetterla sul suolo. Si ha così l'altro massimo successivo. Questa spiegazione potrebb'essere confermata da una serie di osservazioni fatte in istrati molto alti, nei quali fosse poco variabile lo stato igrometrico.

Egli è altresì facile intendere, perchè nell'inverno i segni di elettricità atmosferica dei giorni sereni sieno più forti che nell'estate. In quest'ultima stagione l'aria degli strati inferiori è troppo secca, o almeno troppo lontana dal punto di saturazione. Non può perciò diffondersi l'elettricità degli strati superiori negl'inferiori.

Le osservazioni di elettricità atmosferica fatte nei giorni di pioggia e di neve danno indicazioni troppo irregolari, e non possono perciò assoggettarsi ad una legge generale. Confrontando i segni dell'elettricità di un certo numero di giorni piovosi di uno stesso anno, si trova dai registri dell'Osservatorio di Parigi, che è circa lo stesso il numero dei giorni di elettricità negativa, di quello dei giorni d'elettricità positiva.

Al durare del temporale ed anche della pioggia semplice, i segni dell'elettricità atmosferica si cangiano più volte. Sin qui non v'è alcuna relazione determinata fra la direzione dei venti e i segni elettrici.

Come mai le nubi mostrano cariche elettriche tanto forti? Per ben risolvere questa dimanda converrebbe avere idee esatte sulla costituzione delle nubi; e in vece è questo per noi un soggetto tuttavia oscurissimo. Che che ne sia però, è certo che una nube o un ammasso di vapore d'acqua condensato sia in piccole gocce, sia in vescichette come lo ha supposto Saussure, non può considerarsi per l'elettricità come un corpo unito, formato di parti contigue, e su cui si muova come sopra un corpo conduttore. Le parti del vapore condensato costituenti la nube, separate più o meno l'una dall'altra, quasi indipendenti l'una dall'altra, malamente si prestano al movimento dell'elettricità. Onde è che a grado ben diverso può trovarsi la conducibilità nelle parti della nube: le sue gocce possono essere più o meno ravvicinate, la nube può essere più o meno densa. Dipenderà dunque da questo grado di condensazione delle parti acquee della nube, il modo di distribuirsi dell'elettricità: e se la nube sarà poco densa, ogni molecola d'acqua conserverà la sua elettricità, e quindi anche una grande quantità d'elettricità mostrerà una tensione piccolissima, essendo molta la superficie su cui è sparsa. A misura poi che la nube si farà più densa, che le parti acquee s'accosteranno di più, si toccheranno, l'elettricità fuggirà alla superficie della nube, e così cresceranno i segni della sua tensione, la scarica si farà più facilmente. Questa elettricità sparsa sopra la superficie della nube, e quindi sopra una superficie assai minore di quella delle tante gocce acquee che la compongono e che si vanno avvicinando fra loro, si è quella che produce i fenomeni del temporale, cioè il

fulmine, il tuono, il lampo, in una parola la scarica elettrica. Potrebbe anche dirsi che una volta formato nell'alto dell'atmosfera un centro conduttore dell'elettricità, una nube, sopra vi si raccoglie l'elettricità sparsa negli strati anche lontani dell'atmosfera. Peltier considerando la distribuzione della elettricità nell'interno della nube sopra ogni particella di vapore aqueo condensato, dice che la massa del vapore così elettrizzato agisce con la somma delle azioni elettriche parziali, per cui sono fortissimi i suoi effetti di attrazione o di ripulsione. In questo stato ei considera le nubi che producono le *trombe*.

Ma Peltier avrebbe dovuto dire, che una nube nello stato in cui la suppone, può contenere una quantità di elettricità assai maggiore di quella che può contenere un'altra nube, in cui l'elettricità sia tutta alla superficie, senza dar segni di tanta tensione, nè scaricarsi; altrimenti non può intendersi come gli effetti di attrazione e di ripulsione possano essere minori o maggiori, solo per essere una data quantità di elettricità distribuita o alla superficie di una nube, o sopra tante piccole gocce d'acqua separate le une dalle altre.

Qualunque sia però cotesta idea di Peltier, certo è che nello stato attuale della Scienza non può formarsi idea più giusta del forte stato elettrico che mostrano qualche volta le nubi, senza ammettere che nel condensarsi del vapor d'acqua venga a raccogliersi sulla superficie della nube l'elettricità che era sparsa in una gran massa di vapor d'acqua o d'aria.

Come mai vi sono nubi elettrizzate negativamente, essendo sempre positiva l'elettricità che mostra l'atmosfera? Come mai l'elettricità sparsa sulla nube non agisce respingendone le parti, obbligando la nube a dissiparsi come fa un getto d'acqua elettrizzato che viene così diviso in tanti filetti di acqua? Lo stato elettrico negativo di alcune nubi deve intendersi come quello delle cascate d'acqua. Una nube a contatto del suolo e sottoposta all'influenza elettrica di un'altra nube carica di elettricità positiva, prende l'elettricità negativa nella parte vicina alla nube superiore; e una volta che dal vento, dalla sua densità, da giuochi di azione elettrica, si distacca dal suolo, rimane carica di elettricità negativa. Sul suolo stesso, nelle parti acuminate dei monti, deve esistere sempre questo stato elettrico negativo quando vi sono nubi elettrizzate positivamente nell'atmosfera; e tutte le nubi che vi si formano a contatto, ai elettrizzano per comunicazione egualmente. È per questa ragione che le nebbie si alzano dalle vallate, come lo ho osservato Saussure, cariche di elettricità negativa.

È difficile ad intendersi come l'elettricità tanto grande delle nubi temporalesche non respinga le gocce d'acqua o i vapori vescicolari che la compongono, e così non giunga a dissiparli. Credo che non possa darsi ragione di questo fenomeno, senza attribuirlo alla presenza di stati elettrici contrari, o nelle nubi o sul suolo, che in qualche modo dissimulino quelle grandi cariche. Forse quando mancano queste cariche elettriche contrarie avviene la dissipazione dal temporale per essersi ridotta per tutte le nubi una stessa elettricità.

Tutte le volte che due nubi si avvicinano e che sono cariche di elettricità contraria, v'è scarica, e quindi il lampo e il tuono. Questa scarica è però diversa per le nubi da quella dei nostri conduttori; e la ragione è evidentemente nella costituzione delle nubi, perciocchè la scarica d'una nube non si fa in un punto solo della sua superficie come si fa quella di un conduttore metallico; ma succede in più punti contemporaneamente, essendo fatta di parti distinte, essendo una superficie in diversi punti interrotta. Ed ecco perchè la scarica elettrica della nube è molto più estesa, ei fa sopra una superficie molto più grande di quella dei nostri conduttori.

Ricordatevi, che osservando in distanza le scariche di una batteria sopra una superficie di vetro sparsa di tanti grani metallici, v'è parso di vedere una sola luce diffusa sopra tutta la superficie. Questa scarica è l'immagine del lampo. La durata del tuono, o del rumore della scarica, è anche assai lunga. Non è così sull'alto dei monti. Si prolunga il suono prodotto dalle scariche elettriche delle nubi, perchè vi sono degli echi che si fanno nei diversi strati delle nubi, o che si producono nel traversare che fa il suono gli strati d'aria diversamente densi, e perchè anche si combinano molte volte varie scariche di seguito.

Non è raro di osservare, nelle sere di estate, certe apparenze luminose presso l'orizzonte, che hanno tutti i caratteri delle scariche elettriche o dei lampi, senza che vi sia tuono, nè vi siano nubi nell'atmosfera. Arago, nel suo classico Articolo sul fulmine, spiega questo fenomeno attribuendolo a temporali che si fanno a molta distanza al disotto dell'orizzonte, e di cui vegghiamo le scariche luminose per riflessione sopra l'aria.

Non vi parlerò degli effetti del fulmine sui corpi che percorre: troppo a lungo ci siamo trattenuti sugli effetti della scarica elettrica. Non v'è un effetto del fulmine che

non sia rappresentato da quelli della scarica, qualora si suppongano grandemente accresciuti.

Ho di già dato altrove il principio scientifico su cui si fonda la costruzione del parafulmine. Per la costruzione di questo apparecchio, la cui scoperta è dovuta al genio del Fisico Americano, nulla potrei aggiungere a ciò che trovasi nell'Istruzione a questo scopo redatta da Gay-Lussac a nome di una Commissione dell'Istituto di Francia.

V'è un altro fenomeno del temporale, che accompagna generalmente le nubi fortemente elettriche, e che sembra variare coll'intensità delle scariche: è la grandine.

Volta ricorse per spiegare la condensazione in ghiaccio del vapore delle nubi, al freddo prodotto dall'evaporazione. È però evidente che il riscaldamento prodotto dall'azione diretta dei raggi solari, supera l'abbassamento di temperatura che può esser prodotto dall'evaporazione. Vedremo, parlando del Calore, che di due termometri bagnati d'acqua, uno esposto al sole, l'altro all'ombra, si raffredda per evaporazione assai più quello esposto all'ombra dell'altro, quantunque in questo sia certamente maggiore la evaporazione. Egli è anche difficile spiegare il raffreddamento necessario alla condensazione del vapore delle nubi, attribuendolo alla temperatura dello strato d'aria in cui si trova. Non è raro il caso di grandine formata in strati d'aria posti al disotto della cima di monti non molto alti; e in generale non sono molto elevate le nubi grandinifere.

Sembra più naturale ammettere, che correnti d'aria molto fredda congelino il vapore delle nubi, anche non molto elevate. Si è pur osservato che all'introdursi dell'aria fredda a zero o a pochi gradi sotto zero, in una stanza ove l'aria sia calda e carica di vapore d'acqua, questo vapore si condensa e si converte in neve. Non ho alcuna difficoltà ad intendere che un vento freddo possa improvvisamente mescolarsi ad uno strato d'aria carico di vapore e assai più alto di temperatura, e convertirne in neve il vapore.

Questo però non basterebbe ancora a spiegare la formazione della grandine: ognuno di voi sa che i grani della grandine son ben più grossi del fiocchi di neve; e ne sono caduti di 2 e 4 e perfino di sei once. V'è chi parla di pezzi di ghiaccio assai più grossi. Aggiungesi che i grani della grandine hanno, nel maggior numero dei casi, uno e qualche volta vari nuclei di ghiaccio opaco nevoso, e questi nuclei sono poi ricoperti da uno o più strati di ghiaccio trasparente. È da osservare ancora che la neve o il ghiaccio opaco centrale sono per solito prodotti dal consolidarsi del vapor aqueo quale si trova nelle nebbie, come si forma sopra l'acqua che bolle; mentre l'altro ghiaccio, il trasparente, è sempre fatto dall'acqua liquida che si è consolidata. Sono adunque da spiegarsi due epoche nella formazione della grandine. Che se pure avessimo dato non ragione del come si formi il nucleo nevoso, rimarrebbe sempre ad intendere la formazione degli strati di ghiaccio trasparente che si sovrappongono al nucleo. Volta immaginò che quei primi nuclei fossero successivamente attratti e respinti fra due nubi molto raffreddate e fortemente elettrizzate in senso contrario, e che così portati ogni volta a contatto del vapore, si ricoprissero di nuove croste di ghiaccio.

Non può in vero negarsi all'elettricità un potere meccanico energico: e poichè si attribuiscono all' elettricità gli effetti delle trombe, può ben supporsi che la stessa cagione faccia assai meno, cioè tenga sollevati dei grani di 3 o 6 once di ghiaccio. Ma quello che difficilmente s'intende nella teoria di Volta, è come due strati di nubi potentemente carichi di elettricità contrarie, possano non correrai contro, non scaricarsi colle loro elettricità.

Vi farò per altro osservare in favore della teoria del Volta, che una nube può esser molto elettrizzata, e non mostrare una tensione elettrica molto grande, qualora non sia raccolta sulla sua superficie una gran quantità di elettricità. E quando fosse vero, come varie analogie tendono a provarlo, che gli effetti delle trombe fossero dovuti all'elettricità delle nubi, troveremmo in questo fenomeno la prova di forti attrazioni elettriche senza grandi scariche.

Certo è poi che i grani della grandine si sostengono un certo tempo nell'aria: e molte osservazioni recenti fatte sull'alto delle montagne e anche in mezzo alle nubi temporalesche, stabiliscono che il rumore prodotto dall'urto, dallo sbattimento dei grani gli uni contro gli altri, dura per qualche tempo. Sembra anche provato da queste osservazioni, che due correnti d'aria molto forti e dirette in senso inverso nello stesso strato o ad altezze diverse, precedono la formazione della grandine.

Dirò per ultimo come si spiega la produzione dell'elettricità nell'atmosfera. Volta è il primo Fisico che abbia cercato di risolvere questa quistione coll'esperienza. Pouillet ripetendo le esperienze di Volta ha stabilito, come già si è visto, che nel separarsi che fa l'acqua dal corpo, sale o acido, che tiene disciolto, v'è sviluppo di elettricità e che nel corpo abbandonato dal vapore ri-

mone l'elettricità negativa. Era dunque naturale di ricorrere all'evaporazione dell'acqua che bagna il suolo in tanta quantità, e che è per solito carica di sostanze saline, a fine di spiegare l'elettricità positiva dell'atmosfera. Isolando una lastra metallica molto grande, e bagnandola di una soluzione salina, ho trovato che esposta al sole o al vento dava all'elettroscopio munito di condensatore dei segni d'elettricità negativa. Nasce però in me il dubbio, che questo risultato possa attribuirsi all'ossidazione della lastra e al modo di fare l'esperimento. E tanto più ne dubito, in quanto che sembra provato da Peltier che lo sviluppo di elettricità si fa, in queste circostanze, solo quando è l'acqua combinata col sale che si converte in vapore. In tutti i casi poi non sarebbe mai l'acqua sovrabbondante e lentamente svaporata che produrrebbe l'elettricità. Aggiungerò ancora altre ragioni, per le quali inclino assai a non credere che sia l'evaporazione delle acque impure che bagnano la superficie della terra, che sviluppa l'elettricità dell'atmosfera. Ho fatto per varî giorni osservazioni continuate di elettricità atmosferica presso ai *soffioni* ova si forma l'acido borico nella Maremma Toscana. Vi sono là colonne immense di vapore che si sollevano, e sono cariche di acido carbonico e d'idrogene solforato. Il terreno, per molte centinaia di braccia quadrate, è ardente: non trovo quindi circostanze più favorevoli per sviluppare elettricità in questa ipotesi. Or bene: e dentro al vapore, e presso al vapore, e 20 e 100 a 500 braccia e più lontano, di mattina, di mezzo giorno, di notte, ho ottenuto in tutti i tempi, a tutte le ore, gli stessi segni d'elettricità. Solamente quando l'asta dell'elettroscopio era immersa nella colonna del vapore, vedeva cessare i segni elettrici: il che era naturale, scaricandosi allora l'elettricità sul suolo.

Anche meno che all'evaporazione, credo si debba riferire alla vegetazione, la causa dell'elettricità atmosferica. Nelle esperienze di Pouillet colle quali si è voluto provarlo, vi è costantemente mescolata e confusa l'evaporazione.

Quanto a me adunque inclino a credere, che lo stato elettrico ordinario dell'atmosfera nasca da una causa più generale dell'evaporazione delle acque terrestri. Vedremo nella lezione prossima che conviene ammettere delle correnti elettriche sulla superficie della terra: suppongo che debba essere una sola la cagione delle correnti sulla terra e dello stato elettrico dell'aria.

LEZIONE LXVII.

Magnetismo della terra. — Linee di eguale declinazione. — Carte del Capitano Duperrey. — Equatore magnetico. — Intensità della forza magnetica della terra. — Linee iso-dinamiche. — Variazioni della declinazione e della intensità della forza magnetica della terra. — Aurora boreale. — Cagioni del magnetismo terrestre.

Sta bene che allo studio dell'elettricità dall'atmosfera seguiti quello dell'azione magnetica della terra, la quale azione ci siamo figurata come derivante da un fascio di correnti elettriche dirette parallelamente all'equatore. Ricordatevi che allorquando un ago calamitato (*Fig.* 183) sospeso liberamente nel suo centro di gravità, e disposto in modo da prendere una posizione qualunque di equilibrio, è abbandonato all'azione della terra, si fissa dopo qualche oscillazione in una direzione, che fa coll'orizzonte un angolo variabile da 0 a 90° secondo la latitudine del luogo e secondo l'angolo fatto dal piano verticale che passa per la direzione dell'ago col meridiano terrestre. Per rappresentare semplicemente l'azione magnetica della terra, si considera la terra stessa come una calamita, i cui poli sieno situati a poca distanza da quelli della terra: in questa ipotesi la direzione presa dall'ago calamitato mobile, è precisamente quella della risultante delle forze magnetiche della terra. Questa risultante può esser infatti rappresentata da due forze eguali dirette in senso contrario, secondo la direzione dell'ago, ed applicate a ciascuno dei suoi poli. Lo studio del magnetismo terrestre si riduce all'esame dei tre elementi che compongono una forza qualunque, e che ci sono dati *dall'inclinazione a declinazione dell'ago calamitato, a dall'intensità del magnetismo terrestre.* Si semplifica il problema sostituendo le componenti orizzontali per l'intensità e la declinazione, e con queste, quando si ha l'angolo che fa l'ago coll'orizzonte o l'angolo d'inclinazione, si trova facilmente la direzione e l'intensità della risultante. L'osservazione dall'inclinazione e della declinazione si è fatta, sin qui, con aghi di declinazione e d'inclinazione convenientemente disposti. Per ottenere queste misure d'angoli con tutta l'esattezza, si ricorre a certi strumenti d'Astronomia. Le bussole del Gambay sono celebri, e generalmente adottate per la precisione con cui sono eseguite. Per

avere l'intensità del magnetismo terrestre si adopera una verga calamitata cilindrica sospesa orizzontalmente ad un filo senza torsione. Si allontana la verga dal meridiano magnetico per un certo numero di gradi, e poi s'abbandona a sè: basta perciò di accostare un ferro alla verga, e poi di gettarlo lontano. Si conta il numero delle oscillazioni che fa la verga calamitata in un dato tempo, p. es. in un minuto. Il quadrato di questo numero misura l'intensità della componente orizzontale dell'azione magnetica; e conosciuta allora l'inclinazione, se ne può concludere l'intensità dell'intera forza. Si possono eziandio contare i secondi che la verga impiega per eseguire un numero determinato di oscillazioni; e, in questo caso, le forze direttrici orizzontali sono fra loro in ragione inversa dei quadrati dei tempi impiegati nelle medesime.

Perchè coteste osservazioni d'intensità magnetica sieno tutte comparabili fra loro, conviene che siéno fatte alla stessa temperatura o che almeno i risultati sieno corretti e ridotti a quelli che si avrebbero ad una temperatura costante. Il sig. Kupfer ha dato le regole necessarie per questa riduzione.

Il celebre Gauss si è occupato molto, in questi ultimi tempi, di ricerche sul magnetismo terrestre. L'apparecchio di Gauss, che egli chiama magnetometro bifilare, è fondato sopra un principio analogo a quello della bilancia di Harris (*Fig.* 85). Consiste questo magnetometro in una verga calamitata sospesa a due fili equidistanti dal centro di gravità o, più esattamente, da due porzioni dello stesso filo nel quale la distanza dei punti di sospensione è la stessa in alto e in basso: facendo girare le estremità superiori dei filo intorno al loro punto medio, si fissa la verga calamitata in una posizione che è ad angolo retto col meridiano magnetico. Per il modo di sospensione che ho descritto è facile d'intendere che facendo rotare la calamita intorno alla linea media che passa pel centro di gravità e in mezzo ai due fili di sospensione, i due fili cessano d'essere verticali, non sono più nello stesso piano, e la calamita e il corpo qualunque sospeso è sollevato. Abbandonato il sistema a sè, tende a ritornarvi con un momento di rotazione proporzionale al seno della deviazione dalla posizione d'equilibrio, e che ha il massimo del valore quando l'angolo di deviazione è di 90°. Questo momento massimo di rotazione è la misura della forza, che indipendentemente da qualunque azione magnetica riconduce il corpo, in virtù del modo di sospensione, allo stato d'equilibrio. Gauss chiama *forza direttrica* questa proveniente dal modo di sospensione, e il cui valore è inversamente proporzionale alla lunghezza dei fili e direttamente al quadrato della loro distanza e al peso del corpo sospeso. Allorchè il corpo sospeso è una verga calamitata, i fenomeni sono modificati dall'aggiunta di una seconda forza direttrice che si combina colla prima secondo certe leggi semplicissime di statica che già conosciamo. Si dispone l'apparecchio nel modo che già ho detto: la verga calamitata si fissa in modo che tagli ad angolo retto il meridiano magnetico; e in questa posizione trasversale le osservazioni riescono più facilmente e con maggiore esattezza. Si comincia dall'allontanare la verga calamitata dal meridiano magnetico; tutto l'apparecchio per ritornare all'equilibrio descrive in senso contrario un certo angolo, il cui valore dipende dal rapporto delle due forze direttrici, cioè da quella dovuta alla sospensione e da quella che si vuol misurare, che è l'azione magnetica della terra. La prima di queste forze è costante, l'altra variabile; ed è evidente che la posizione della calamita varierà intorno alla sua posizione media, e che le variazioni dell'angolo saranno in rapporto colle variazioni della forza. L'apparecchio di Gauss è oggi adottato da un grandissimo numero di Osservatori: per tutto si fanno ricerche di magnetismo terrestre, ed è probabile che non tardi molto ad essere assai avanzata questa importante questione di Fisica terrestre.

Frattanto vi darò un cenno dei risultati i più importanti che si sono dedotti dalle moltissime osservazioni di declinazione, d'inclinazione e d'intensità magnetica, fatte nei diversi punti del globo.

La declinazione, ossia l'angolo che fa col meridiano terrestre il meridiano magnetico, varia da un luogo all'altro: in Europa la punta australe dell'ago, quella che è volta al nord, guarda verso l'occidente, dimodochè la declinazione dicesi occidentale, ed è, per Parigi, l'angolo di declinazione di 22.° In America e nel nord dell'Asia la declinazione è orientale. Riunendo insieme i diversi punti nei quali la declinazione è nulla si possono formare due linee assai irregolari. Una di queste linee senza declinazione si è trovata nell'Oceano Atlantico, fra l'antico e il nuovo Mondo: essa taglia il meridiano di Parigi per 65° di latitudine australe, rimonta al nord-ovest sino a 35° di longitudine, e diviene quasi nord-ovest scorrendo presso le coste del Brasile. La seconda linea senza declinazione parte dal grande Arcipelago, si porta verso il nord, e viene a traversare la parte orientale della Siberia.

Il lavoro di Hansteen è il più compiuto sopra tale soggetto. Questo Fisico riunì pu-

re in tante linee sulla superficie del globo i punti nei quali la declinazione è eguale, e formò le linee chiamate perciò di *eguale declinazione*. Tutte queste linee di eguale e di nessuna declinazione sono sparse sul globo senza alcuna simmetria fra loro e rispetto ai grandi circoli della terra.

L'inclinazione aumenta in generale colla latitudine, e in senso contrario nei due emisferi; e perciò passando da un emisfero all'altro si dee trovare una serie di punti in cui l'inclinazione è nulla: questa serie di punti riuniti forma l'*equatore magnetico*. La linea dell'equatore magnetico è piena di sinuosità, e forma assai irregolarmente un gran circolo della terra. Morlet ha dedotto dalle osservazioni di Cook, di Vancouvert ed altri viaggiatori la forma dell'equatore magnetico e la posizione de' suoi nodi, cioè di quei punti in cui l'equatore magnetico taglia l'equatore terrestre. L'equatore magnetico è interamente al sud dell'equatore terrestre frà l'America e l'Africa, e viene a tagliarlo a 18° di longitudine orientale. Partendo da questo nodo, e dirigendosi verso il mare delle Indie, la linea senza inclinazione s'allontana rapidamente dall'equatore e giunge nel mare d'Arabia al massimo del suo allontanamento boreale, che è di 12° circa a 62° di longitudine orientale. Da questo punto sino al secondo nodo, che si trova a 174° di longitudine al di là dell'Arcipelago delle Caroline, la linea senza inclinazione descrive molte sinuosità, mantenendosi però sempre nell'emisfero boreale. Fra questo secondo nodo e il primo, le sinuosità sono molto più grandi. A 120° di longitudine occidentale nell'Oceano Pacifico v'è un punto in cui si toccano i due equatori. Prima e dopo questo punto la linea senza inclinazione si spiega verso il sud.

Secondo Hensteen l'equatore magnetico sarebbe diverso da quello che abbiamo descritto, quanto alla posizione e al numero dei nodi. Anche le ultime osservazioni del Capitano Sabine e quelle dei sigg. Freycinet e Duperrey non s'accordano con quelle di Hansteen. Laonde convien conchiudere che questa linea senza inclinazione è suscettibile di uno spostamento, e che perciò varia di posizione coll'andare degli anni. Arago ha infatti dimostrato che le differenze dei risultati ottenuti in epoche diverse, si spiegano ammettendo che l'equatore magnetico sia dotato di un movimento *di translazione secolare* dall'est all'ovest. Anche le linee senza declinazione si trovano in tal modo soggette a questo movimento secolare di traslazione, egualmente diretto dall'est all'ovest.

Una delle più importanti osservazioni del magnetismo terrestre che si sieno fatte in questi ultimi tempi, è quella del Capitano Ross. Questo celebre Viaggiatore ha trovato, coll'ago d'inclinazione, il polo magnetico dell'emisfero boreale: questo polo è situato a 70°,5' di latitudine nord, e 99°5',48'' di longitudine ovest contando dal meridiano di Greenwich.

Hansteen aveva creduto di dover dedurre dalle figure delle sue linee di eguale inclinazione, che vi erano due poli magnetici per ogni regione polare.

Il capitano Duperrey ha considerato per meridiani magnetici quelle linee che risultano dalla direzione dell'ago calamitato in ogni punto del globo. M'interessa molto che vi facciate una giusta idea delle carte magnetiche del Capitano Duperrey. Supponiamo che si parta da un punto qualunque con un ago di declinazione, e che camminando sempre nel senso della direzione dell'ago, dapprima verso il nord, poi verso il sud, si rilevino e si congiungano tutti i punti per i quali si è passati. La curva che riunirà tutti questi punti è un meridiano magnetico. Prendendo un altro punto di partenza vicino al primo si può tracciare un altro meridiano, ed è certo che queste due linee s'incontreranno in due punti posti l'uno al polo nord, l'altro al sud. Tracciando sul globo un certo numero di questi meridiani e riunendo i punti d'intersezione di due meridiani vicini, si avrà in ogni emisfero una curva chiusa risultante dalla unione di tutti quei punti d'intersezione: è naturale ammettere che il polo si trovi al centro dell'area rinchiusa da questa curva.

Anche l'intensità magnetica della terra è stata determinata in molti punti. Dobbiamo al celebre De Humboldt la grande scoperta che l'intensità magnetica del globo aumenta colla latitudine, o cioè andando dall'equatore al polo. I punti in cui si sono trovate eguali le intensità magnetiche formano le *linee isodinamiche*. Lo stesso Humboldt prendendo per unità l'intensità riscontrata al nord Peruviano, ha trovato che questa intensità è per Napoli 1,2745; per Milano 1,3121; per Parigi 1,3482. Egli crede che l'intensità magnetica possa variare sulla superficie del globo entro certi limiti, che sono tra loro come 1 a 2,6. Non v'è alcun rapporto, alcuna disposizione di simmetria fra le linee di eguale inclinazione e le linee iso-dinamiche. È importante il rapporto di parallelismo che trova Duperrey fra le linee iso-dinamiche e le linee iso-termiche o di eguale temperatura media.

La declinazione, l'inclinazione e l'intensità variano costantemente; e soffrono cangiamenti annuali e diurni.

Per Parigi nel 1580 la declinazione era

orientale di 11°; nel 1664 era nulla, e nel 1819 era a 23° ridotta occidentale. Oggi la punta australe dell'ago ritorna all'est; e la declinazione è sempre occidentale, ma di 22°. Cassini scoprì pel primo che l'estremità nord dell'ago si moveva verso l'est nel tre mesi che separano l'equinozio di primavera da quello d'estate: negli altri nove mesi la stessa estremità dell'ago si moveva verso l'ovest. Arago confrontando un gran numero di osservazioni ha trovato, che quando la declinazione è occidentale e aumenta d'anno in anno, l'ago va verso l'est coll'estremità nord dall'aprile al luglio. L'ampiezza di questa oscillazione diminuisce a misura che il movimento secolare si rallenta: cessa affatto quando la declinazione ha raggiunto il limite del suo movimento occidentale. Quando la declinazione diminuisce, ricompare l'oscillazione annuale; ma il movimento, che è sempre verso l'est, ha luogo dal settembre al decembre.

La declinazione soffre ancora alcune variazioni diurne. In Europa l'estremità nord va costantemente verso l'ovest dopo l'alzata del sole fino ad un'ora dopo il mezzogiorno. In seguito ritorna verso l'est: l'ampiezza di questa oscillazione è maggiore nell'estate di quello che nell'inverno. Nell'emisfero australe queste variazioni diurne hanno luogo in senso contrario, cioè il polo nord va verso l'est al mattino, e la sera torna all'ovest.

Hansteen è il primo Fisico che abbia trovate le leggi secondo le quali varia l'intensità magnetica della terra, e sono queste: 1.° l'intensità magnetica è soggetta a variazioni diurne; 2.° il minimo di questa intensità è fra le 10 e le 11 ore del mattino, e il massimo fra le 4 e le 5 dopo il mezzogiorno; 3.° le intensità medie dei mesi sono variabili; 4.° la intensità media verso il solstizio d'inverno supera molto l'intensità media trovata negli stessi giorni verso il solstizio d'estate; 5.° le variazioni d'intensità media da un mese all'altro sono al loro minimo nel maggio e giugno, e al loro massimo verso gli equinozi. Poichè queste variazioni d'intensità sono trovate nella componente orizzontale, che sappiamo esser espresso da F Cos. *n*, essendo F la forza magnetica totale e *n* l'angolo d'inclinazione, conviene ammettere che l'inclinazione è soggetta alle variazioni che abbiamo trovate.

Vi sono infine delle variazioni irregolari di declinazione. Arago ha messo fuori di dubbio che l'apparizione di un'aurora boreale è sempre accompagnata da oscillazioni nell'ago, il quale va verso l'ovest nel tempo e prima dell'aurora. La declinazione è accresciuta, e non cessa se non se quando l'apparizione della luce dell'aurora è al suo massimo.

E qui cade in acconcio che vi dica una parola di questa maravigliosa meteora. Verso la fine del crepuscolo, e in generale al nord, s'alza una specie di nebbia che ha la forma d'un segmento di circolo, e che s'appoggia sull'orizzonte. La parte visibile della circonferenza è presto circondata da una luce bianca, che dà origine a uno o più archi luminosi. Allora veggonsi dei raggi o getti di luce diversamente colorati che partono dal segmento oscuro, e qualche volta questo segmento si apre qua e là, lasciando vedere delle aperture illuminate. Intanto tutta la massa è agitata, e si continuano a scagliare raggi di diverso colore. Il fenomeno a poco a poco si estingue, e ciò quando la luce s'è diffusa in alto: lentamente si ritira di nuovo all'orizzonte, illuminando nel cessare anche il primo segmento oscuro. S'osserva generalmente, che la sommità degli archi luminosi è nel meridiano magnetico.

Allorchè si è vista una volta la celebre sperienza di Davy, quando si sono osservati i getti luminosi che il passaggio della corrente elettrica produce nell'aria rarafatta fra due punte di carbone, e quando sappiamo che questi torrenti luminosi di elettricità ubbidiscono all'attrazione e ripulsione delle calamite, è difficile di non cedere all'analogia fra questo fenomeno e le aurore boreali.

E certamente questo fenomeno è associato nella sua cagione alla cagione generale del magnetismo terrestre, e forse dell'elettricità atmosferica. Il globo di Barlow, preparato facendo solchi sopra una sfera di legno a modo da rappresentare l'equatore e alcuni circoli paralelli, entro i quali è introdotto un filo di rame continuo percorso dalla corrente, rappresenta con esattezza tutti i fenomeni del magnetismo terrestre.

Aggiungerò ancora che inutilmente si rappresentano i fenomeni di questo magnetismo della terra, e specialmente la legge della intensità, ammettendo una o più calamite nell'interno del globo.

Non rimane più che a ricercare la sorgente di queste correnti elettriche terrestri paralelle all'equatore. Potrei qui ripetervi una folla d'ipotesi che si sono create. Si è parlato di correnti termo-elettriche, di azioni chimiche, di miscuglio d'acque calde e fredde. Ma mi conviene confessarvi che sarebbe tempo perduto per me e per voi se mi facessi a ripetervi idee che sono prive affatto di fondamento. Troverete in qualche Trattato data una certa importanza ad una esperienza fatta da un Fisico Inglese, per provare che vi sono nel seno della terra del-

le correnti elettriche. Metteva quel Fisico a contatto delle due superficie, in un filone o strato di minerale di rame, i due estremi di un galvanometro, e notava che l'ago dava segni di deviazione e perciò di corrente. Dopo quel che abbiamo detto sull'elettricità sviluppata dalle azioni chimiche, sulle correnti secondarie, può mai vedersi, nel fenomeno osservato, la cagione delle correnti che devono supporsi circondare il globo e rappresentare il suo magnetismo?

Una vasta associazione scientifica, volta alle ricerche di magnetismo terrestre, abbraccia ormai tutto il mondo civilizzato. Speriamo in tante forze cooperanti, e dirette da Uomini che già hanno reso tanti servigi alla Fisica terrestre, quali sono Humbold, Arago e Gauss.

LEZIONE LXVIII.

Elettricità animale. — Corrente muscolare. — Corrente propria della rana. — Riassunto del trattato dell'Elettricità.

Eccovi una sperienza molto semplice e facile, che vi prova l'esistenza d'una corrente elettrica, che si produce riunendo con un corpo conduttore due diversi punti di una massa muscolare, tanto in un animale vivo, come in un animale di recente ucciso. Si prepara una rana alla solita maniera di Galvani, si taglia a metà il suo bacino, si asporta con cura la massa muscolare della coscia, si taglia uno dei plessi lombari al suo escire dalla colonna vertebrale, e si ha così una gamba di rana unita al suo lungo filamento nervoso composto dal plesso lombare e dal suo prolungamento nella coscia, ossia dal nervo crurale. È la rana così pre-

LAP

parata che ho chiamata *rana galvanoscopica*, e che serve assai bene alla ricerca della corrente elettrica. A questo fine basta d'introdurre la gamba della rana in un tubo di vetro coperto d'una vernice isolante, di reggere il tubo colle mani, e di portar poi due punti del corpo qualunque di cui si studia lo stato elettrico, in contatto di due punti distinti e sufficientemente lontani dal filamento nervoso della rana galvanoscopica. Se si ha cura di non toccar mai il corpo con alcuna porzione del muscolo della gamba, se questa è tenuta ben isolata dalla mano, si può con sicurezza asserire che la contrazione sopravvenuta nella rana galvanoscopica sarà dovuta ad una corrente generata nel corpo toccato, e che il nervo non fa che condurre e mostrare colla contrazione del suo muscolo.

Mentre la rana galvanoscopica si sta così preparando, prendo un animale vivo qualunque, un piccione a cagion d'esempio; taglio leggermente il suo muscolo pettorale dopo averne tolti con cura gl'integumenti, e introduco nella ferita il nervo della rana galvanoscopica.

Vedete la rana contrarsi; e se ponete mente alla disposizione della rana, rileverete che per aversi queste contrazioni è mestieri toccare, con due diverse porzioni del filamento nervoso, due distinti punti del muscolo pettorale del piccione. Toccando con l'estremità del nervo della rana il fondo della ferita e con un altro punto del nervo stesso le labbra della ferita o la superficie esterna del muscolo, la rana si contrae costantemente. Ciò vi prova chiaramente la presenza d'una corrente elettrica che circola nel nervo, poichè è necessario formare un arco nel quale è compreso esso nervo. Che poi queste contrazioni della rana siano eccitate da una corrente elettrica dovuta alle diverse parti del muscolo dell'animale, ve lo proverà il vedere, non eccitarsi contrazioni nella rana quando tocco due distinti punti del nervo con un liquido o con un corpo conduttore qualunque. Nè crediate che il sangue sia più atto d'un altro liquido conduttore qualunque a svegliare le contrazioni

nel muscolo della rana galvanoscopica. Fo cadere una goccia di sangue di questo stesso piccione su d'una lamina di vetro, tocco col nervo della rana due punti distinti di questa goccia: la rana non si contrae.

È inutile il farvi notare che se bagno o il nervo della rana galvanoscopica, oppure le diverse parti del muscolo del piccione, con una soluzione salina od acida, o meglio anche con una soluzione alcalina, le contrazioni nella rana si fanno più forti che nella prima sperienza. Queste soluzioni agiscono chimicamente sulla sostanza del nervo e del muscolo.

Ciò che avete veduto accadere su questo piccione avviene in qualunque altro animale, sia desso a sangue caldo, oppure a sangue freddo.

Si ottengono anche le contrazioni nella rana galvanoscopica mettendone il nervo a contatto d'un muscolo separato da un animale. Eccovi una coscia di rana, separata già da qualche tempo dall'animale: fo un taglio sul muscolo crurale, metto a contatto del fondo della ferita l'estremità del nervo della rana galvanoscopica, ed a contatto della superficie del muscolo un altro punto dello stesso nervo. La rana galvanoscopica si contrae all'istante. Ripeto questo sperimento con questa coscia di piccione, con quest'altra di coniglio, con questa porzione di anguilla, la contrazione ha luogo egualmente nella rana galvanoscopica, come nel primo caso. Ma se anderete ripetendo questi sperimenti, rinnovando di tanto in tanto la rana galvanoscopica, osserverete che dopo qualche tempo cessa il fenomeno, servendoci dei muscoli del piccione e del coniglio, mentre persiste più a lungo con quei delle rana e dell'anguilla.

Le contrazioni che avete veduto eccitarsi nella rana galvanoscopica vi danno già l'indizio dell'esistenza d'una corrente elettrica, che dirò *muscolare*, la quale dal muscolo di un animale vivo o recentemente ucciso in cui si produce, circola nel nervo della rana. Ma a mettere fuori d'ogni dubbio l'esistenza di questa corrente, per scuoprirne la sua direzione, la sua intensità in relazione allo stato di vita o di morte dell'animale, in relazione al posto dal medesimo occupato nella scala degli esseri, in una parola per determinare le leggi, conveniva ricorrere al galvanometro.

Scuopro sopra un piccione vivo il muscolo pettorale, e vi fo una ferita; porto rapidamente le estremità in platino del filo d'un galvanometro sensibilissimo, l'una sulla superficie del muscolo, l'altra nell'interno della ferita. Vedete all'istante l'ago del galvanometro deviare di 15, di 20 e più gradi, e così indicare una corrente ch'è diretta nell'interno dell'animale dall'interno del muscolo alla sua superficie. Dopo poco l'ago ridiscende, e spesso ritorna a 0°. Se tolgo le estremità del galvanometro e rinnovo l'esperienza, accade qualche volta, forse li più spesso, di riavere una deviazione nel senso della prima, ma sempre assai più debole. In qualche caso però le deviazioni che si hanno dopo la prima sperienza sono anche inverse. Ripetendo l'esperienze sopra i muscoli di altri animali, la prima indicazione del galvanometro si ottiene nel maggior numero dei casi come quella da noi vista, come è pur vero che nelle esperienze successive le inversioni della corrente si presentano spesso. Un tal fatto non è dunque abbastanza netto, non prova rigorosamente l'esistenza della corrente muscolare. Se avessi operato egualmente sopra un animale morto avreste visto, al solito, nella prima sperienza il segno d'una corrente diretta dall'interno all'esterno del muscolo nell'animale, però più debole che nel vivo; ma anche su questo le incertezze si succedono, le sperienze non sono concludenti. V'è dunque difetto in questo modo d'operare, e non v'è Fisico, per quanto poco abituato all'uso del galvanometro, che non scorga questo difetto, e non ne prevegga le cagioni. In un mio libro recentemente pubblicato a Parigi sotto il titolo di *Traité sur les phénomènes électro-physiologiques des animaux*, ho instituito con prolissità sul modo d'applicare il galvanometro allo studio dei fenomeni elettrici degli animali; e sarei troppo lungo ripetendovi ora tutto quello che quivi ho detto.

Sono contento di potervi mostrare di esser giusto a stabilire col galvanometro l'esistenza della corrente muscolare; e a scuoprirne le leggi fondamentali.

Preparo cinque o sei rane alla nota maniera di Galvani, le taglio a metà, e separate le cosce dalle gambe per via di disarticolazione, taglio trasversalmente in due parti le cosce stesse. Posso così disporre d'un certo numero di mezze cosce, tra le quali non scelgo che quelle che appartengono alla porzione inferiore. Su questa tavola verniciata che vedete, ed in cui sonovi delle cavità a guisa di capsule, dispongo le mezze cosce a questo modo. Ne colloco primieramente una in maniera che peschi colla sua superficie esterna in una delle capsule; ne fo succedere a questa un'altra in modo che la sua superficie esterna stia a contatto con la superficie interna della prima, e così di seguito: di guisa che mentre tutte le mezze cosce disposte in fila si toccano, presentano rivolta co-

stantemente la stessa superficie verso la stessa parte. L'ultima mezza coscia di questa serie la fo pescare, come la prima, in

un'altra cavità di questa tavola, colla sua superficie interna. Eccovi dunque una pila di mezze cosce di rana, una estremità della quale è formata dalla superficie esterna del muscolo, l'altra dalla sua superficie interna. Verso nelle due cavità della tavola dell'acqua leggermente salata o anche dell'acqua distillata, immergo in esse le due estremità del galvanometro, e ne vedo immediatamente deviar l'ago, il quale era a 0° prima dell'immersione.

Eccovi dunque dimostrata al galvanometro la presenza di una corrente elettrica prodotta dalla pila formata coi muscoli della rana. Variate per quanto volete l'esperimento; fate uso, invece di muscoli di rane, di muscoli d'altri animali, pesci, uccelli, mammiferi; purchè conserviate la stessa relativa posizione suindicata delle superficie interna ed esterna dei muscoli, avrete una deviazione più o meno grande nell'ago galvanometrico: questa deviazione vi indicherà *costantemente* colla sua direzione la presenza della corrente elettrica, che va nell'interno della pila dalla superficie interna alla superficie esterna del muscolo.

Devo farvi notare come l'intensità della corrente sia in ragione del numero delle cosce impiegate a formar la pila. Eccovi una pila formata con sei mezze cosce di rana: notate la deviazione dell'ago; è di 10° a 12°: eccovene un'altra di quattro elementi; l'ago devia di 6° a 8°: eccovene una terza di due elementi; l'ago devia anche meno, non segna che 3° o 4° appena. L'accrescimento di intensità nella corrente muscolare in ragione del numero dei muscoli impiegati a formare la pila è costante, qualunque sia l'animale da cui sono tolti quei muscoli.

Se invece di disporre gli elementi in linea retta per formare le pile muscolari, li disponete in maniera da formare un arco, e rendere così piccolissima la distanza fra i due poli della pila, potrete chiudere il circuito col solo nervo della rana galvanoscopica, e dalle sue contrazioni dedurre l'esistenza della corrente.

Ho voluto esaminare se gli altri tessuti ed organi degli animali, le membrane, i nervi, il cervello, il fegato, il polmone, mostravano la presenza di correnti elettriche al galvanometro: i risultati furono negativi. Il solo cuore mostrò l'esistenza di correnti elettriche; ma il cuore è un muscolo, come ben sapete.

È inutile che vi dica che ho tentato tali esperienze sulle membrane, sul fegato, disponendo a pila delle porzioni di questi tessuti od organi come nel caso dei muscoli, e che ho operato colle stesse precauzioni.

La corrente dunque di cui finora si è parlato, si deve riconoscere come proprietà del muscoli. Nè questa proprietà nei medesimi dipende dal sistema nervoso. Molte sperienze da me tentate e riportate per esteso nell'indicato mio libro, mi convinsero che distrutto anche il sistema nervoso che si distribuisce al muscolo, questo non perde la proprietà di manifestare la corrente elettrica. Formai pile con muscoli spogliati con ogni cura dei loro nervi, ne formai con muscoli tratti da rane alle quali qualche giorno prima venne distrutta con un ferro rovente una estesa porzione della midolla spinale, ne formai con muscoli di rane avvelenate con oppio. Nessuna notabile differenza si ebbe nell'intensità della corrente prodotta da queste diverse pile, paragonata a quella di una pila formata dello stesso numero di elementi muscolari presi da rane intatte.

Se venite via via tentando col galvanometro una pila, che oramai diremo muscolare, rileverete facilmente le deviazioni dell'ago farsi sempre più minori e finalmente cessare del tutto; e facendo uso di pile formate di muscoli d'animali appartenenti a diverse classi, vedrete i segni della corrente elettrica diminuire tanto più rapidamente, e tanto più presto scomparire del tutto, quanto più l'animale di cui vi servite occupa un posto più elevato nella scala degli esseri.

Così avviene che mentre le pile formate con muscoli di pesci, di rane, di anguille, danno per molte ore dopo la morte segni sensibili della corrente, quelle formate con muscoli d'uccelli e di mammiferi non li presentano più.

Abbiamo già notato l'incertezza dei segni della corrente al galvanometro, allorchè le estremità del filo dell'istrumento si mettono direttamente in contatto coi muscoli di un animale vivo. Per poter dunque stabilire qualche cosa di positivo, bisogna variare il modo di sperimentare. Eccovi una mia esperienza al coperto di ogni causa d'errore, la quale non è che la ripetizione sull'animale vivo di quella che vi ho fatta colle

mezze cosce di rana. È facile d'intendere come con qualche cura si giunge ad inchiodare sopra la solita tavola un certo numero di rane vive, fissandone con chiodi le quattro gambe e collocandole così una presso l'altra. Ognuna delle rane è stata prima privata degl'integumenti delle cosce e delle gambe, e di più si è fatto a ciascuna un taglio nel muscolo d'una delle cosce.

Così preparata la tavola si giunge facilmente a mettere le gambe di una delle rane in contatto dell'interno dei muscoli delle cosce tagliate della rana successiva. In tal guisa si ripete con rane vive la pila già descritta. La corrente che si ha allora è diretta, al solito, dall'interno del muscolo all'esterno nell'animale: la intensità della corrente così ottenuta è, a numero eguale di elementi, più grande che adoperando muscoli di rane morte, ed assai più lentamente s'indebolisce.

Eccovi dunque con tutto il rigore dimostrata l'esistenza di una corrente elettrica, allorchè con un arco conduttore si riuniscono l'interno e la superficie d'un muscolo di un animale vivo, o recentemente ucciso; questa corrente è sempre diretta nell'animale dall'interno del muscolo alla superficie; persiste più o meno lungamente dopo la morte, e tanto più negli animali a sangue freddo che in quelli di un ordine superiore; sussiste senza la diretta influenza del sistema nervoso, e non è modificata anche distrutte l'integrità di questo sistema.

Mi resta a dirvi degli studi che ho fatto per ricercare l'influenza che aver possono sulla corrente muscolare le condizioni organiche del muscolo vivente.

Paragonando fra loro muscoli di animali, privati di nutrimento o in cui il circolo sanguigno è lento e anche distrutto affatto, trovasi la corrente muscolare assai indebolita d'intensità.

Se invece i muscoli sono da qualche tempo infiammati, ingorgati di sangue, o appartengono ad animali ben nutriti, la corrente muscolare si mostra più intensa e più persistente.

Ho principalmente agito sulle rane, essendo questi animali più atti di tutti a resistere ai patimenti a cui si assoggettano colle sperienze.

Se i muscoli di cui si compone la solita pila appartengono a rane che si sono tenute per lungo tempo in mezzo di temperatura assai bassa, a zero o sotto zero, la corrente muscolare è grandemente indebolita. Per gli animali a sangue caldo la differenza portata dall'abbassamento di temperatura è meno sensibile che per le rane.

Un risultato che può sulle prime sorprendere, è quello di vedere che la corrente muscolare ha la stessa intensità, tanto facendo la pila con mezze cosce di rane, come facendola dello stesso numero di elementi, ognuno dei quali sia di due o più mezze cosce ammucchiate. In una parola, la superficie degli elementi non ha influenza sull'intensità della corrente. È così che accade colle pile formate di conduttori di seconda classe, cioè con soluzioni acide e alcaline che reagiscono fra loro.

Ho voluto finalmente vedere se l'azione di alcuni veleni aveva influenza sull'intensità e durata della corrente muscolare, e trovai che questa corrente nelle rane avvelenate con acido carbonico, con acido idrocianico, con idrogene arsenicato, non differisce in intensità dalla corrente delle rane alle quali non si è fatta subire l'azione di quei veleni.

L'influenza, al contrario, dell'idrogene solforato sull'intensità della corrente muscolare è molto marcata; ciò che ho potuto più volte verificare, tanto nelle rane che nei piccioni asfissiati e uccisi con quel gas. Un animale morto in un'atmosfera d'idrogene solforato perde quasi totalmente la proprietà di manifestare la corrente muscolare.

Vi ho detto altrove che nei muscoli delle rane uccise coi veleni narcotici la corrente era egualmente intensa che nelle rane così uccise.

Una parola finalmente dei risultamenti ottenuti studiando la corrente muscolare sopra muscoli in cui i nervi sono lasciati ed anzi messi in qualche modo in esperienza. Ho costruite pile di mezze cosce di rane, nelle quali però i muscoli non si toccavano direttamente, ma in cui erano i filamenti nervosi che stabilivano le comunicazioni. Ho trovato costantemente che la direzione della corrente muscolare non era mai alterata; l'intensità sola era diminuita. In tutte, secondo che si stabilivano i contatti col filamento nervoso superiore al taglio della coscia o col filamento della gamba lasciato unito alla coscia, la direzione della corrente rimanendo la stessa, ne veniva che il nervo ora mandava la corrente verso l'elemento muscolare, ora la riceveva; o, ciò che torna lo stesso, non avendo influenza il nervo sulla direzione della corrente muscolare, esso agiva sempre rappresentando la faccia del muscolo, interna o esterna, con cui era a contatto.

La corrente muscolare era in questi casi indebolita per la cattiva conducibilità del nervo; e se invece del nervo si usa un filo di cotone inzuppato d'acqua stillata, i risultamenti sono identici a quelli che si ottengono usando i muscoli coi nervi.

V'aggiungerò infine esser giunto, in questi ultimi tempi, a comporre con piccioni vivi, una pila muscolare simile a quella descrittavi di rane vive. Confrontando questa pila con una simile di rane, trovai che i primi segni della corrente muscolare erano assai più forti colle pile di piccioni, che con quella di rane. E la differenza diviene tanto più grande, se si considera che nella pila dei piccioni la resistenza del circuito è molto più forte che in quella delle rane. Verificai sempre che i segni della corrente muscolare s'indebolivano e cessavano più presto coi piccioni che colle rane.

Dall'insieme di tutte le cose discorse fin qui, e per le quali è ben dimostrata l'esistenza della corrente muscolare e ne sono stabilite le leggi fondamentali, è chiaro che questa corrente è dovuta alle azioni chimiche della nutrizione, che è una corrente molecolare, che si trova cioè nei muscoli come l'ammettiamo nell'ipotesi d'Ampere nelle molecole dei corpi magnetizzati. L'esperienza sola poteva manifestarla, come si manifesta chiudendo il circuito del galvanometro coll'immergere le due estremità eterogenee di un arco metallico in un liquido acido: una lamina di zinco immersa in un acido si discioglie, ma non dà segno di corrente perchè manca il circuito. Così è della corrente muscolare che si genera e si distrugge in qualche modo nelle molecole stesse del muscolo in cui è prodotta.

Abbiamo già veduto più innanzi, come dalle azioni fisico-chimiche che succedono nella fibra muscolare vivente, si svolge elettricità la quale può rendersi manifesta con una conveniente disposizione sperimentale. La corrente muscolare è un fatto generale dell'organismo vivente. Voglio adesso intrattenervi sullo sviluppo d elettricità proprio di alcuni animali.

Conosciamo cinque pesci dotati di questa proprietà; la *Roja Torpedo*, il *Gymnotus electricus*, il *Silurus electricus*, il *Tetrodon electricus*, il *Trichiurus electricus*. Due soli fra questi sono stati studiati con cura; la torpedine e il gimnoto, e quella più che questo. Parleremo dunque più particolarmente della torpedine.

Se si prende fra le mani una torpedine viva, si risente immediatamente una forte commozione ai polsi e alle braccia, paragonabile a quella che vien prodotta da una pila a colonna di 100 a 150 coppie caricata con acqua salata. Continuando a tener fra le mani l'animale, queste scosse si succedono con una grande rapidità, in modo che riescirebbe impossibile sostenerle a lungo; dopo un certo tempo l'animale perde la sua vivacità, le scosse si risentono meno forti, anche avendo la precauzione di conservarlo in un vaso pieno d'acqua salata. La scossa che la torpedine può dare è così forte da risentirsi, senza toccarla direttamente; e lo sanno i pescatori, i quali s'accorgono della presenza di questo pesce in mezzo a quelli che sollevano colle reti allorchè vi gettan secchi d'acqua per lavarlo. Tutte le volte che il getto dell'acqua è continuo, la scossa è risentita specialmente nelle braccia. Nell'acqua stessa in cui trovasi la torpedine, la scossa si fa sentire anche a delle grandi distanze; ed è di questo mezzo che sembra essere stata dotata la torpedine a fine di uccidere i pesci di cui si nutre.

I primi osservatori non tardarono ad accorgersi dell'identità d'un tal fenomeno della torpedine colla scarica elettrica. Essi si accorsero che se l'animale era circondato da sostanze coibenti, se veniva toccato con bastoni di ceralacca, di vetro ec., la scossa non era più sentita, mentre lo era immediatamente, adoperando in vece della resina e del vetro, l'acqua, i panni bagnati, e meglio anche i corpi metallici.

Walsh ha fatto anche più; essendo giunto a provare con esperienze, oggi generalmente confermate, che le due facce opposte del corpo della torpedine sono i poli in cui si trovano, nell'atto della scarica, le elettricità contrarie: ne viene che si ha la scarica la più forte congiungendo con un arco conduttore, che può essere il corpo dell'osservatore, il ventre e il dorso del pesce. Si è creduto un tempo che bastasse il toccare con un corpo conduttore un punto qualunque della schiena o del ventre della torpedine per avere la scossa, e che quindi non fosse mestieri di fare arco colle due facce opposte dell'animale; ma oggi è provato che questa condizione è essenziale, e che si riesce ad aver la scossa toccando la torpedine in un sol punto con un conduttore metallico tenuto fra le mani, ciò avviene perchè la torpedine non è isolata, per cui allora l'arco si fa attraverso al suolo e a tutto il corpo dell'osservatore. Anche isolando la torpedine sopra una sua faccia e toccandola sull'altra con uno o due dita, avviene di provare in esse una lieve scossa. Ma intenderete facilmente questa particolarità quando avremo esposte le leggi della distribuzione dell'elettricità sul corpo di questo animale.

La scossa della torpedine è accompagnata da tutti i fenomeni propri della scarica o della corrente elettrica. Le rane preparate al modo di Galvani distese sul corpo della torpedine, si veggono saltellare ad ogni scossa che essa dà allorchè è irritata. Si veggono queste rane saltare anche quando sono poste a qualche metro di distanza dalla tor-

pedine, purchè posino sopra un panno bagnato, su cui si trovi anche la torpedine. Se la rana preparata tocca un punto del corpo della torpedine coll'estremità dei suoi nervi ed è sostenuta colla mano, la rana si contrae ad ogni scossa della torpedine. Cessa però di contrarsi la rana così tenuta se la torpedine è isolata, o se la rana è sostenuta con un filo isolatore. Malgrado questi isolamenti la rana indica di nuovo la scossa quando si fa in modo che un lungo tratto del suo filamento nervoso sia disteso sul corpo della torpedine. Questo fatto è simile a quello della scossa provata nel dito di colui che tocca la torpedine isolata.

Distribuendo varie rane preparate su tutta la superficie del corpo della torpedine (*Fig.* 205), si veggon dapprima scuotersi tutte ad ogni scossa del pesce; ma a misura che la sua vitalità si va estinguendo, non si tarda a scorgere che le rane che mostrano più lungamente di scuotersi sono quelle collocate su i fianchi dell'animale in prossimità al capo. In una parola, i punti che conservano più lungamente la facoltà di far contrarre le rane, sono quelli che corrispondono a due organi particolari posti lateralmente e simmetricamente verso l'estremità cefalica del pesce. Quando si portano in contatto del dorso e del ventre d'una torpedine le due estremità in platino del filo di un galvanometro di una mediocre sensibilità, e s'irrita la torpedine perchè dia la scarica, si vede, al momento in cui saltano le rane, deviar bruscamente l'ago del galvanometro, poi ritornare all'istante addietro, oscillare e fissarsi a zero, anche continuando a tener chiuso il circuito; ad una nuova scossa del pesce, l'ago devia come prima. L'uso di questo istromento ha servito a mostrare che nella scossa della torpedine la corrente è diretta nel galvanometro dal dorso al ventre del pesce, che, cioè, il dorso rappresenta il polo positivo di una pila e il ventre il polo negativo. Se si tentano cogli scandagli del galvanometro i diversi punti del corpo della torpedine nell'atto che dà la scarica, si vede anche meglio che facendo uso delle rane, che da primo si hanno i segni della corrente stabilendo il circuito fra qualunque dei punti della schiena e del ventre, e che quando l'animale s'indebolisce convien toccare i punti che corrispondono ai così detti *organi elettrici* della torpedine, per avere i segni della corrente. È curioso che toccando nello stesso tempo due punti della stessa faccia, dorsale o ventrale, di uno degli organi, si hanno segni di corrente, però più deboli assai di quelli che si hanno stabilendo il il circuito fra le due opposte facce. Perchè la deviazione avvenga toccando cogli scandagli del galvanometro due punti appartenenti alla stessa faccia del pesce, è necessario che uno degli scandagli tocchi i punti prossimi alla periferia dell'organo, e l'altro scandaglio il punto all'incirca diametralmente opposto al primo. Allora si hanno i segni della corrente, si trova questa sempre diretta nel galvanometro dallo scandaglio più prossimo alla linea mediana dell'animale a quello più lontano dalla medesima. Si ottengono pure i segni della corrente al galvanometro tenendo uno degli scandagli in contatto della superficie ventrale o dorsale d'uno degli organi, e infiggendo l'altro scandaglio nell'interno dell'organo stesso; la corrente si mostra costantemente diretta dallo scandaglio che tocca la superficie dorsale o che vi è più prossimo, all'altro scandaglio.

Se in luogo del filo del galvanometro si adopra un filo egualmente metallico, una porzione del quale sia avvolta a spirale, e se colle estremità di questo filo si toccano le due facce della torpedine, si avrà magnetizzato dalla scossa l'ago d'acciaio che si è precedentemente messo nella spirale. Qualunque sia la grossezza del filo della spirale, la lunghezza del circuito metallico, il diametro della spirale stessa, la lunghezza e la grossezza dell'ago d'acciaio, il suo grado di tempra, il senso del magnetismo prodotto dalla scarica della torpedine è costante.

Disponendo sulle due facce del pesce collocato sopra un piano isolante, due dischetti di platino l'uno sul dorso, l'altro sul ventre, mettendo su questi due dischi due altri dischi di carta inzuppata di una soluzione d'idriodato di potassa e chiudendo infine il circuito, mettendo questi dischi in comunicazione con un filo di platino, non si tarda a vedere, dopo un certo numero di scariche fatte dare dal pesce, che intorno all'estremità del filo di platino toccante il disco di carta posato sul platino in contatto del ventre, si fa una macchia di un colore giallo-rossastro. Un egual colore, benchè più debole, comparisce sulla faccia della carta posata sul platino in contatto del dorso. Il liquido che inzuppa la carta è dunque scomposto dalla corrente elettrica della torpedine, e l'iodio apparisce al polo positivo.

Si può anche giungere a veder la scintilla nell'atto della scarica della torpedine, e l'apparecchio adoperato a questo fine è assai semplice. Si colloca la torpedine colla sua pancia o colla sua schiena sopra un largo piatto metallico A (*Fig.* 201) come sarebbe lo scudo di un elettroforo ben isolato, e si posa sull'altra faccia del pesce un piatto simile B tenuto con un manico isolante. Ciascuno dei due piatti è munito d'un filo me-

tellico; sulle estremità superiori di questi due fili sono attaccate con gomma due foglioline d'oro, che vengono così a pendere in basso. Si dispongono i due piatti in maniera, che le due foglioline siano in grande prossimità. Conviene scegliere per questa esperienza una torpedine vivace più che sia possibile. Comprimendola col piatto superiore, e cercando nel tempo stesso di condurre le due foglioline d'oro a contatto, non è raro il veder brillare la scintilla fra le medesime. È naturale che il fenomeno sia difficile a scorgersi, giacchè convien cogliere il momento della scarica o combinare in questo momento una tal distanza fra le foglie d'oro, perchè le corrente possa produrre le scintille.

Tutti i fenomeni della scarica o scossa della torpedine sono dunque dovuti a una corrente elettrica. L'apparecchio da cui questa corrente è prodotta consiste in due organi particolari, chiamati *organi elettrici della torpedine*; le due facce opposte di questi organi mostrano stati elettrici contrari; la faccia dorsale è positiva, la faccia ventrale è negativa. La torpedine dà volontariamente la scarica, ed ogni esterna irritazione non agisce sull'organo elettrico che per intermezzo della volontà dell'animale: e di fatti, siccome la scarica passerebbe attraverso l'animale stesso se non vi fossero archi esterni e conduttori per riceverla, ne viene che l'animale o non ne dà o cessa immediatamente di darne, quando non è toccato ed è fuori dell'acqua, o quando è toccato da corpi coibenti. Non è perciò a caso che la natura dotò d'una funzione elettrica gli animali che vivono in un liquido conduttore.

Le proprietà della corrente della torpedine sembrano avvicinarsi più tosto a quelle della corrente elettrica propriamente detta, che a quelle della scarica della bottiglia.

Esaminiamo ora la scarica della torpedine come funzione fisiologica, e conseguentemente veggiemo quale influenza vi hanno le parti diverse dell'organo stesso, quelle che lo circondano o che vi sono in qualche modo in rapporto, non che le circostanze che operano sullo stato di vita dell'animale elettrico.

Se si ha cura di operare rapidamente sopra una torpedine assai vivace asportando uno dei suoi organi, separandolo così dalle cartilagini, dagli integumenti che lo coprono o lo circondano, e solo lasciando intatti i grossi tronchi nervosi che vi si distribuiscono, si scuopre facilmente che tutte le suddette parti, integumenti, cartilagini ec. non influiscono sulle scarica.

Si cuopra infatti quest'organo così separato dalla torpedine con rane preparate, vi si applichino gli scandagli del galvanometro, sopra e sotto, e si vedrà, irritando i nervi in modo qualunque, scuotersi le rane, deviar l'ago, indicendo une corrente che va el solito nel galvanometro dalla faccia dorsale alla ventrale dell'organo.

Così operando si arriva ad un altro ben curioso risultato, che è quello di ottenere la scarica ora da una porzione, ora dall'altra dell'organo elettrico su cui si esperimenta: basta perciò di irritare separatamente ognuno dei nervi dell'organo stesso, o si vedrà che non tutte le rane stesevi sopra si contraggono, ma alcune sole, quelle cioè che occupano lo spazio in cui si distribuisce il nervo irritato.

Tali scariche però non durano che pochi stenti. Se peraltro si usa per irritare il nervo la corrente elettrica, fatta passare pel nervo stesso, le scariche dell'organo così separato continuano un certo tempo. La corrente elettrica che passa pei nervi dell'organo elettrico della torpedine agisce colle stesse leggi che vedremo obbedire nella sua azione sui muscoli. La corrente elettrica all'istante in cui comincia a passare nel nervo dell'organo elettrico della torpedine, eccita le solita scarica: continuando a passare, la scarica non continua, e si ottiene di nuovo allorchè la corrente cessa.

Finchè l'organo è molto fresco e appena separato dall'animale vivo, gli effetti descritti appartengono alla corrente *diretta* nel senso della ramificazione del nervo, come all'*inversa*. A misura che s'indebolisce l'azione della corrente i fenomeni cangiano, cioè la corrente diretta eccita la scarica al solo suo entrare e l'inversa al solo cessare. Lo stesso vedremo avvenire allorchè le corrente agisce sui nervi del moto ed eccita la contrazione nei muscoli.

Vedesi encora, che a misura che la vitalità dell'organo elettrico separato si va estinguendo, perchè la corrente applicata sui nervi vi ecciti la scarica, convieno agire sopra dei punti sempre più prossimi alle loro estremità.

Ne viene anche da questi fatti che la circolazione sanguigna non è direttamente necessaria alla scarica elettrica, perchè enssiste nell'organo separato e di certo vuotato di sangue, e in cui la circolazione non si fa più.

Quanto al parenchima dell'organo stesso, el è vista la scarica continuare anche dopo averlo trafitto, tagliato in più sensi, purchè si conservasse unito alla torpedine: cessava però di agire se o immergendolo nell'acqua bollente o col contatto d'un acido, si era coagulata l'albumina che in gran parte lo compone.

Risulta da questi fatti provata l'influenza della volontà dell'animale sulla scarica esercitata per mezzo dei nervi che vanno all'organo.

Questi nervi non sono dunque nè di senso nè di moto; sono nervi che non hanno altra funzione che quella di far agire l'organo in cui si distribuiscono, di eccitarlo alla sua funzione.

Era importante di studiare l'influenza che il cervello della torpedine esercita sulla scarica. Ho scoperto perciò col taglio orizzontale della cassa aponevrotica, il cervello in una torpedine viva, ho disposte le rane pre-

parate e il galvanometro, onde scoprire quando accadeva la scarica, e come.

Se si irritano i primi lobi del cervello (i lobi olfattori) non v'è scarica: i lobi ottici, il cervelletto, si conducono egualmente. Queste tre prime protuberanze del cervello possono esser tolte, e la torpedine può ancora dare la scarica.

Non rimane più che un quarto lobo, che ho chiamato *lobo elettrico*: questo non appena è toccato che le scariche sopravveogono, e secondo che si tocca la sua parte sinistra, o la destra, l'organo sinistro o il destro dà la scarica. Si possono togliere tutti gli altri lobi del cervello, e la funzione elettrica si conserva: tolto il quarto lobo, lasciati gli altri, la funzione elettrica dell'animale ha cessato per sempre.

Ciò che vi è anche di più curioso si è, che se, mentre la torpedine ha cessato di dare scariche, s'irrita il lobo elettrico, queste si rinnovano; e allorchè si ferisce, se ne ottengono ancora fortissime, le quali ho visto in qualche caso, raro sì, esser dirette in senso inverso della scarica ordinaria.

Per compier ciò che riguarda lo studio della torpedine, mi rimane a dirvi che questo pesce cessa di dare scariche tenuto nell'acqua fredda a zero o poco sopra, ma che poi le ripiglia rimesso nell'acqua a 15° o 20° C., e che queste alternative si possono ripetere più volte sullo stesso individuo.

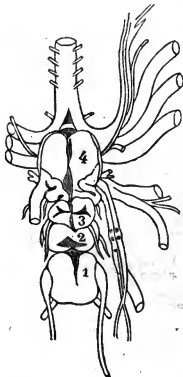
Nell'acqua calda circa 30° la torpedine cessa presto di vivere, e muore dando un gran numero di scariche violente.

Allorchè s'irrita spesso, tenuta nell'acqua, specialmente comprimendola sopra gli occhi, dà un gran numero di scariche a poi cessa di darle, anche irritata: lasciata in riposo, riprende dopo qualche tempo la sua proprietà.

I veleni narcotici, la stricnina, la morfina a grandi dosi, uccidono presto la torpedine facendole dare molte scariche ed intense: a piccola dose portano la torpedine in quello stato di sopra-eccitamento, nel quale la più piccola irritazione basta a farle dare la scarica. In questo stato messa sopra una tavola, ho visto che bastava dare un colpo sulla tavola, perchè la scossa avesse luogo. Toccata alla coda, subito succede la scarica; ma se allora le si taglia la spina, i contatti al di sotto del taglio non eccitano la scarica. È dunque una scarica prodotta per *azione riflessa* sulla midolla spinale.

Le analogie fra la contrazione muscolare e la scarica della torpedine sono complete: tuttociò che distrugge, accresce, modifica l'una, agisce egualmente sull'altra.

Del gimnoto, altro pesce elettrico che si trova in alcuni laghi delle Indie, non posso dirvi che poche cose, giacchè assai poco fu studiato. Duolmi di non potervi qui leggere un lungo passo dell'opera del celebre Hum-

boldt, in cui si descrive la caccia che fanno gl'Indiani delle anguille elettriche. Essi cacciano a forza, cavalli e muli nei laghi limacciosi in cui vivono i gimnoti: questi cominciano a lottare dando fortissime e numerosissime scariche sui cavalli e sui muli, e non è raro che qualcuno di questi perisca nel conflitto. Dopo una lunga battaglia i gimnoti stanchi vengono galleggianti sull'acqua, avvicinandosi alla spiaggia; allora gl'Indiani scagliando su di essi uncini legati a corde, riescono a tirarne qualcuno fuori dell'acqua. Le osservazioni di Humboldt hanno provato che le scariche del gimnoto accadono, come per la torpedine, senza la necessità d'alcun movimento muscolare nell'animale, e che tolto il cervello la scarica manca quantunque s'irriti la midolla spinale. Rimarrebbe a studiarsi, meglio che non si è fatto finora, qual può essere l'azione delle diverse parti del cervello sulla scarica. Il modo con cui si fa la pesca dei gimnoti basta a provare che la sua scarica è volontaria, che s'indebolisce una tal funzione rinnovandola spessa, e che si ristabilisce col riposo.

Faraday, che ha potuto studiare un gimnoto giunto vivo a Londra, è riescito ad ottenere dalla scarica elettrica di questo pesce tutti i fenomeni della corrente elettrica, cioè la scintilla, la decomposizione elettro-chimica, l'azione sull'ago magnetico ec. Egli ha cercato di paragonare la scossa del gimnoto ad una batteria di bocce di Leyda caricato a saturazione. Secondo questo Fisico la scarica del gimnoto non sarebbe diversa da quella d'una batteria di 15 bottiglie di 3500 pollici quadrati inglesi di superficie armata. Stando a questo numero, non può più sorprendere che qualche cavallo resti ucciso dalle ripetute scariche del gimnoto.

Il risultato più importante a cui è giunto Faraday, è quello della direzione della scarica di questo pesce. L'estremità cefalica è il polo positivo, e la caudale è il negativo; di modo che la corrente va nel galvanometro dalla testa alla coda dell'animale. Questa disposizione ci spiega l'artificio che ei è visto adoprar dal gimnoto allorchè dà la scarica per uccidere un pesce; egli s'incurva, a modo che la preda rimanga nella concavità formata dal suo corpo.

Nulla si sa degli altri pesci elettrici, di cui non ho potuto dirvi che i nomi.

In che consiste l'organo dei pesci elettrici, qual è l'apparecchio elettrico che ha analogie con quest'organo? È assai difficile rispondere adeguatamente a queste dimande. L'organo elettrico della torpedine si compone d'un certo numero, 400 a 500, di masse prismatiche simili a gradi di riso addossati

l'uno all'altro, e composte ciascuna di altrettante vescichette sovrapposte l'una all'altra. Da questa disposizione risulta l'apparenza di un favo, che ha tutto l'organo, e quella che ha poi ognuno dei prismi che lo compone di tanti diafragmi che il dividono normalmente al loro asse e che in realtà non sono altro che le parete aponeurotiche addossate delle masse vescicolari prossime. Ramificazioni nervose e fibre muscolari si distribuiscono sopra queste pareti o diafragmi. Le ramificazioni nervose risultano da fibre elementari distribuite a maglia sulle pareti delle vescichette e terminate in anse nel lobo elettrico, e probabilmente anche in anse sulle pareti delle vescichette. In tal guisa i rami nervosi dell'organo formerebbero tanti circuiti chiusi, ognuno dei quali avrebbe un'ansa nel lobo cerebrale e un'altra nella parete della vescichetta dell'organo. Traggo queste notizie dalle importanti ricerche fatte dal mio amico Prof. Savi, e che si trovano in una Memoria pubblicata nel mio Libro succitato.

La grande somiglianza, o più precisamente l'identità di struttura di tutte queste vescichette, conduce ad ammettere che esse sono il vero organo elementare dell'apparecchio elettrico; lo che pure è provato dall'identità della loro composizione, giacchè tutte sono piene d'uno stesso liquido denso formato di circa 9|10 d'acqua, di 1|10 d'albumina e di poco sal marino. Che ognuno di queste vescichette sia l'organo elementare dell'apparato elettrico lo prova pure direttamente l'esperienza. Ho preso sopra una torpedine viva un pezzetto d'uno dei suoi prismi, grande all'incirca come la testa d'un grosso spillo, v'ho steso sopra il nervo della rana galvanoscopica, ed ho visto spesso che ferendo il pezzetto del prisma con un vetro, o con un corpo aguzzo qualunque, avvenivano le contrazioni nella rana. Riflettete ora che ognuno dei prismi si compone di un grandissimo numero di vescichette o organi elementari, che Hunter ha contato 470 prismi in uno degli organi

della torpedine, a intendereta che la scarica, dovendo essere proporzionale al numero delle vescichette, dovrà essere assai forte.

L'organo elettrico è dunque un vero apparecchio moltiplicatore.

Pensò il Volta che fosse una pila, messa in attività dall'animale, comprimendo il suo organo, stabilendo così i contatti. Ma nulla di tutto questo fu provato dalle sperienze che abbiamo riferite. Si è detto in questi ultimi tempi che l'organo elettrico era analogo ad una spirale elettro-magnetica, che la scarica era un fenomeno d'*extra-corrente* o d'*induzione*. Passo sopra ad un grandissimo numero di opposizioni che si posson fare a questo confronto, basate sulla troppa differenza di disposizione, di conducibilità, cho v'ha fra una spirale elettro-magnetica e l'organo della torpedine. Ciò che più importa è che manca la prova, essenziale in questa ipotesi, che l'azione nervosa si trasmuti in elettrica. Voglio mostrarvi qui un fatto che, quantunque ancora molto oscuro, non manca d'essere importante e che può condurci nella via della dimostrazione che si cerca. Stendo il nervo d'una rana galvanoscopica molto vivace e recentemente preparata, su i muscoli delle cosce d'una rana preparata all'uso di Galvani. Ciò fatto, irrito in un modo qualunque i nervi spinali di questa seconda rana, e veggo che mentre i suoi muscoli si contraggono, si contrae anche la gamba della rana galvanoscopica che tocca l'altra col solo suo nervo. E non è già che una porzione di corrente elettrica della coppia adoperata per eccitare la contrazione nei muscoli della rana intera, giunga al nervo della rana galvanoscopica; giacchè questo accade anche senza servirci della coppia voltaica, e qualunque sia il mezzo con cui si svegliano le contrazioni. Ho osservato che l'azione non si trasmette più, se fra il nervo della rana galvanoscopica e la superficie muscolare su cui riposa si trova un sottilissimo strato di sostanza coibente o di un corpo buon conduttore, come sarebbe una foglia d'oro, mentre l'azione si trasmette attraverso d'uno strato simile d'un conduttore di seconda classe.

Questo fatto sarebbe presto spiegato dicendo che nella contrazione muscolare v'è sviluppo di elettricità; e poichè il fatto or ora descritto non avviene già adoperando la sola rana, ma avviene coi muscoli in contrazione di tutti gli animali, potrebbe dirsi, che nell'atto della contrazione stessa, la corrente elettrica muscolare si svolga in maggior quantità in modo da non potersi più scaricare nelle parti interne del muscolo, e che una porzione circola passando alla superficie. Si doveva però, prima d'accogliere questa congettura, ricorrere all'esperienza, e vedere se vi era aumento della corrente muscolare, o della corrente che chiamiamo *propria della rana*, di cui in breve vi parlerò, nell'atto della contrazione muscolare. Le difficoltà che s'incontrano per giungere a risultanti esatti in tali ricerche sono grandi, e vi confesso che, malgrado molti sforzi, non ho ancora la persuasione di esservi riescito, nè la speranza di aver raggiunto lo scopo.

Ma poichè qualche volta dobbiamo pur contentarci di congetture, facciamone una. Ogni volta che l'irritazione nervosa giunge ad ognuna delle vescichette elementari dell'organo della torpedine, le due elettricità si separano. Il calore che agisce sulla tormalina, sopra alcuni metalli cristallizzati, separa le due elettricità: l'azione chimica fa altrettanto; le azioni meccaniche, confricazione, pressione, agiscono ugualmente; sia così dell'irritazione nervosa nella vescichetta dell'organo elettrico. L'identità di struttura e di disposizione di ogni vescichetta farà che ognuno dei prismi divenga, per il solo istante piccolissimo della durata dell'irritazione, una pila, e quindi l'organo sarà un apparecchio moltiplicatore che durerà ad esser carico un solo istante, essendo in mezzo a corpi conduttori. La scarica si farà e al di fuori nel mezzo circostante, e in parte anche nell'interno dell'organo, e tanto più fuori quanto più questo è miglior conduttore dell'interno dell'organo; si noti che abbiamo provato coll'esperienza, esservi nell'interno questa scarica.

Ne verrebbe da questa ipotesi che gli stati elettrici contrari dovrebbero sempre trovarsi alle estremità dell'asse lungo dei prismi; ed

è un'osservazione di molta importanza e che appoggia in qualche maniera queste idee, quella che mostra le posizioni respettive dei poli nel gimnoto corrispondere a quelle dei poli della torpedine, quanto all'estremità dei prismi. Nel gimnoto i prismi stanno distesi lungo l'asse del corpo dell'animale, cioè vanno dalla coda alla testa o viceversa; nella torpedine invece i prismi hanno le loro estremità in contatto del dorso o della pancia. Or bene: nel gimnoto i poli son la coda e la testa, e nella torpedine si trovano sul dorso e sul ventre.

È d'uopo che vi parli d'un altro fenomeno elettrico che presenta una qualche analogia coi fenomeni che abbiamo riconosciuto nei pesci elettrici. Parlo della *corrente propria della rana.*

Scuoprì il Galvani, e tutti i Fisici poterono osservare dopo di lui, che una rana preparata alla sua solita maniera si contrae, allorchè si fanno venire a mutuo contatto i suoi nervi lombari con i muscoli della coscia o della gamba. Il Nobili studiò il primo questo fenomeno col mezzo del galvanometro. Eccovi l'esperienza fondamentale del Nobili. Una rana preparata al modo solito si colloca in maniera tra due bicchierini contenenti acqua distillata, che i nervi lombari da una parte e le gambe dall'altra peschino nel liquido. Disposte così le cose, si chiude il circuito immergendo nei due bicchierini le due estremità in platino del filo galvanometrico. Osservate l'ago; devia, e giunge dallo zero a 5°, a 10° ed anche a 15°; notate che la direzione della deviazione c'indica una corrente che va nella rana dalle gambe al nervo, ossia dalle gambe alla parte superiore dell'animale.

Questi segni della corrente aumentano, se invece di servirmi di una sola rana, ne dispongo molte a pila.

Questa disposizione è facilissima a concepirsi. Sopra questa tavola verniciata, di cui mi sono servito parlandovi della corrente muscolare, colloco queste rane preparate in modo che i nervi dalla prima tocchino le gambe della seconda, i nervi di questa le gambe della terza, ec. Ho così una pila, di cui una estremità è formata dalle gambe, l'altra è costituita dai nervi. Fo pescare i due poli della pila di rane nelle due cavità della tavola che contengono acqua leggermente salata, oppure acqua distillata, e nelle quali tuffo i due estremi del filo del galvanometro. Vedete l'ago deviare dallo zero, ed indicarvi, come nell'esperimento del Nobili, l'esistenza di una corrente che va dalle gambe ai nervi in ciascuna delle rane che compongono la pila. Questo sperimento, che ho avuto luogo di ripetere e variare in mille modi diversi, ci fa conoscere essere la deviazione dell'ago proporzionale al numero delle rane disposte a pila, farsi maggiore adoprando invece d'acqua distillata una soluzione salina, una soluzione alcalina, e molto più una soluzione acida. Ma la direzione della corrente è sempre costante qualunque sia il liquido impiegato, cioè va sempre dai piedi alla parte superiore della rana.

Ripetendo gli esperimenti or ora fatti osserverete, che nel tempo in cui il galvanometro indica la presenza e la direzione della corrente elettrica, le rane si contraggono.

Queste contrazioni sono le stesse che otteneva il Galvani. Si ottengono desse sempre-chè si chiuda il circuito con un qualunque corpo conduttore il quale da una parte comunichi coi nervi, dall'altra col muscoli dell'animale, come sarebbero uno stoppino

di cotone, o un pezzo di carta bagnati nell'acqua, od una massa liquida conduttrice qualunque.

Questa corrente, che fu chiamata *corrente della rana*, e da me *corrente propria della rana*, non si è riconosciuta fin quì che in questo solo animale.

Ho voluto cercare quale delle parti del membro inferiore della rana è necessaria alla produzione della corrente, o quale è la loro diversa azione sulla corrente propria. Vi farò una sola esperienza che risolverà queste quistioni.

Eccovi due pile opposte l' una all' altra, e ciascuna delle quali è dello stesso numero d' elementi. Una di queste pile è di sei rane preparate alla solita maniera del Galvani: l' altra pila è di sole sei gambe di rana, ma senza cosce e nervi spinali. I sei elementi dell' una toccano i sei dell' altra, ma le disposizioni degli elementi dell' una sono opposte a quelle degli elementi dell' altra; a modo che in mezzo si toccano i nervi dall' una parte, e l' estremità superiore della gamba dall' altra. È così che le due pile sono opposte. Tocco coi capi del filo del galvanometro le estremità delle due pile opposte, e non ho segno notabile di corrente differenziale.

La corrente propria della rana dunque ha per elemento animale la sola gamba della rana.

Nulla di più singolare d' un tal fenomeno, sul quale non mi è neppur dato di crearmi un' ipotesi, di sognare una spiegazione. Nei pesci elettrici v' è un organo particolare di cui la funzione, eccitata dall' azione del sistema nervoso, consiste nel produrre elettricità. Nella gamba della rana non apparisce una struttura particolare; la sua corrente si sottrae all' influenza del sistema nervoso.

Fra le produzioni d' elettricità dei corpi viventi, credo giusto dirvi ancora, che per quanto molti fra i tanti casi registrati sieno mal constatati e studiati imperfettamente, vi sono però esempi di fenomeni elettrici avegliati nell' uomo malato, che meritano fiducia e che hanno quindi grandissima importanza.

Non crediate già ch' io voglia qui parlarvi dei segni di elettricità ottenuti in certi casi nello svestirsi d' una calza di seta o della camicia, fenomeni che sono qualche volta citati come prove dell' elettricità animale, e che ognuno di voi sa esser prodotti della sola confricazione: intendo parlarvi del caso celebre avvenuto, sono alcuni anni, agli Stati Uniti, di una Signora che dava scintille elettriche sui corpi conduttori, allorchè era isolata. Assistevano al caso, e lo hanno riferito, Uomini competenti e degni di fede.

RIASSUNTO

Eccoci alla fine delle Lezioni sopra l' Elettricità: abbiamo studiata colla maggiore estensione possibile questa parte tanto importante della Fisica. Ho posto ogni cura per non lasciarvi ignorare i rapporti di questo ramo della Fisica colla Fisiologia e colla Chimica.

Non voglio finire senza mettervi in grado di apprezzar giustamente le ipotesi che abbiamo adottate. Sin dal primo giorno vi dissi che era la sola necessità di raccogliere, di classificare tanti fatti, che mi decideva a darvi i principi delle due ipotesi, con cui si spiegano i fenomeni elettrici, e a prender una di quelle per guida.

Ora che questi fatti sono conosciuti, ora che sono nella vostra mente ordinati, non colla guida sola di quelle ipotesi, ma bensì con quella delle leggi che stabiliscono dei rapporti determinati fra loro, posso dirvi francamente ciò che valgono ai nostri giorni quelle ipotesi. Quando anche giungessi col mio dubbio a togliere affatto dalla vostra mente, non me ne pentirei, giacchè sarebbe l' opera dell' ultimo giorno che vi parlo di elettricità. Abbiate pure ben fisse nella mente le differenze che qualificano i due stati, le due maniere di essere dell' elettricità; non cessate mai di meditare sopra gli effetti che vi corrispondono: poco m' importerà se crederete

che uno o due fluidi rappresentino l'elettricità statica e la corrente.

V'è nella Fisica, come in tutte le scienze una specie di *senso interno*, di *sentimento*, chiamatelo come più vi aggrada, che avverte colui il quale se ne occupa, che certe ipotesi non reggono più, e che anzi lo inceppano, lo tormentano nei suoi passi. E questo, credo io, è il vero sentimento del progresso per ogni scienza. Le ipotesi dei due fluidi e di un fluido solo, sono di questo genere. Se mi dimandaste, perchè oramai tutti i Fisici se ne dimenticano allorchè corrono alla ricerca di nuove verità, sarei molto imbarazzato a rispondervi.

Sentiamo tutti che l'elettricità non può essere la combinazione di due fluidi che si neutralizzano, si mescolano, si separano l'uno dall'altro; sentiamo tutti che la corrente, nell'ipotesi di Franklin, di un fluido solo, non è la corrente elettrica, non è la scarica che si opera con quella velocità che è provata dalle esperienze di Wheatstone. Da tutte le parti sorgono le analogie, i punti di contatto fra l'elettricità e gli altri imponderabili, calore e luce: per tutto veggiamo differenze ben più grandi di quelle che distinguono lo stato elettrico vitreo dal resinoso, potersi intendere con differenze di movimento, di forma o massa delle molecole mosse.

Il tempo non è anche giunto per dare all'elettricità quella vera forma scientifica che caratterizza una scienza matura, una scienza in cui i fatti nuovi discendono: nell'elettricità ci mancano ancora molti fatti; con questi dobbiamo ancora salire per formarla.

CALORICO

LEZIONE LXIX.

Del Calore. — Cosa è temperatura. — Oggetto del Termometro. — Termometro a mercurio e ad alcool. — Dilatazione apparente dei liquidi. — Termometrografi. — Pirometri. — Termometro differenziale. — Termoscopio. — Pile termo-elettriche e Termo-moltiplicatore.

Allorchè, nella prima parte di queste Lezioni, abbiamo voluto rappresentarci i diversi stati della materia e concepire le proprietà che loro appartengono, è convenuto ammettere l'esistenza di una cagione generale, che opponendosi al contatto immediato delle molecole dei corpi e lottando coll' attrazione molecolare, produceva, secondo la diversa sua intensità, le variazioni di densità e di stato che si osservano nei corpi. Questa cagione o forza qualunque, di cui ignoriamo la natura, è ciò che chiamasi *Calore* o *Calorico*: si dice *calore* se si considera negli effetti che produce sopra i nostri organi svegliandovi le sensazioni di caldo e di freddo; è denominata *calorico* quando si suppone costituita da un fluido o corpo imponderabile.

Risovvenitevi di quella palla di rame che, riscaldata colla fiamma di una lampada o fra i carboni accesi, non passava più per un anello, da cui passava prima di essere riscaldata o dopo averla lasciata raffreddare.

La colonna liquida contenuta in un tubo di vetro terminato in un recipiente sferico, si vede crescere, appena il recipiente è immerso nell' acqua calda.

L' aria contenuta in un matraccio di vetro che è esattamente riunito ad una vescica, si dilata e gonfia la vescica, subito che s'avvicina ad un corpo caldo. Potrei variarvi queste esperienze all' infinito, e in tutte vedreste sempre *dilatarsi* quei corpi che noi diciamo riscaldati o che sono in presenza di corpi caldi; li vedreste *contrarsi* se perdono calore, se sono in presenza di corpi freddi.

Noi diciamo in questi casi che la *temperatura* di un corpo è più o meno elevata di quella d' un altro, secondo che lo giudichiamo più o meno caldo dell' altro, o che il suo volume ha sofferto una variazione corrispondente più o meno grande. Se in un dato sistema di corpi non veggiamo accadere nessun cambiamento di densità e di volume, giudichiamo che la quantità di calore che possiede ognuno di questi corpi è costante e stazionaria. È in questo stato d' equilibrio che si riducono due o più corpi dopo un certo tempo, più o meno lungo secondo le varie circostanze che studieremo in seguito, qualunque sieno le quantità relative di calore che contengono in origine. Un tale stato d'equilibrio in cui si trovano rispetto al calore quei diversi corpi, è ciò che chiamasi la loro *temperatura*. Se le circostanze cambiano, e se veggiamo accadere delle variazioni di volume, la temperatura del sistema sarà elevata o abbassata secondo che i cambiamenti osservati indicheranno un aumento o una perdita di calore; ed è quando tutte le sue diverse parti si saranno di nuovo ridotte ad uno stato stazionario, che il sistema sarà passato ad un' altra temperatura.

Queste variazioni di volume che avvengono nei corpi per l' aggiunta o per la perdita del calore, ci servono a determinare le temperature. Noi possiamo così, indipenden-

temente dalla natura della cagione o forza che costituisce il calore, imparare a valutarne l'energia, a paragonarne le intensità con cui opera nei diversi casi.

In generale, ogni effetto fisico prodotto sopra un sistema di corpi dai cambiamenti della sua temperatura, che è suscettibile di esser misurato con precisione, può fornirci quell'istrumento che chiamiamo *termometro*. Sarebbe stato comodo di servirci per ciò delle sensazioni diverse che noi proviamo a contatto di un corpo, le quali certamente differiscono secondo la varia quantità di calore che egli contiene. Ma è facile di riconoscere quanto sono erronei in questi casi i nostri giudizi, e specialmente in quelli in cui occorre di confrontare due sensazioni provate ad epoche differenti. Non è men vero che uno stesso corpo può parerci più o meno caldo, abbenchè di certo non abbia subito nessun cambiamento, secondo che la mano con cui si tocca è più o meno fredda del corpo stesso.

Di tutti gli effetti del calore, l'aumento di volume è quello che più facilmente può misurarsi con esattezza. Abbenchè tutti i corpi si dilatino allorchè se ne aumenta la temperatura e si contraggono quando si diminuisce, e che tutti riprendano il loro primitivo volume allorchè si riproducono le medesime circostanze, nullameno certi corpi devono preferirsi nella costruzione del termometro. I corpi solidi si dilatano assai poco, e non possono perciò adoperarsi che nella misura delle grandi variazioni di temperatura. I fluidi elastici invece si dilatano grandemente per piccolissime variazioni di temperatura. I liquidi, che si dilatano assai più dei solidi e assai meno dei gas, sono di un uso più generale nella costruzione dei termometri. Vengono perciò introdotti in vasi trasparenti, e in questo modo lasciano facilmente scorgere le loro variazioni di volume. Il mercurio e l'alcool sono i liquidi che più generalmente s'adoprano. Vi sono per la costruzione del termometro molte cure che non possono trascurarsi, volendo dare a quest'istrumento tutto il grado di sensibilità e di esattezza che si richiede nella misura dei fenomeni fisici. Non avrò perciò riguardo di estendermi lungamente sopra la costruzione del medesimo.

Se il mercurio fosse contenuto in un tubo cilindrico di vetro, è certo che si esigerebbero delle variazioni di temperatura molto grandi, onde produrre degli aumenti sensibili di volume. V'è un modo facile per ridurre queste variazioni apparentemente molto grandi; consiste nel contenere il liquido in un recipiente sferico o cilindrico di vetro, al quale è saldato un tubo di un diametro molto sottile. Con questa forma, data ai recipienti del termometri A B (*Fig.* 21), le più piccole variazioni di volume che avvengono nella massa del liquido contenuto nel recipiente possono rendersi sensibili quanto si vuole. Così, se si prende un tubo il cui diametro sia cento volte più stretto di quello del recipiente al quale è unito, uno stesso aumento di volume prodotto nel liquido del recipiente occuperà nel tubo una lunghezza cento volte maggiore di quella che avrebbe occupato nel recipiente. Si comincia dall'introdurre il mercurio nel termometro, ciò che convien fare riscaldando il recipiente sopra i carboni accesi onde discacciarne l'umidità e una parte dell'aria, e poi tuffando rapidamente l'estremità aperta del tubo in una sufficiente massa di mercurio purissimo e caldo. Tenuto il tubo in questa posizione sinchè l'aria si sia raffreddata, la pressione dell'atmosfera v'introduce una colonna liquida; raddrizzato di nuovo il tubo, si scalda il bulbo onde discacciare affatto l'umidità e l'aria, e di nuovo si tuffa nel mercurio. Può anche introdursi il mercurio nel termometro saldando un recipiente cilindrico abbastanza largo sopra l'estremità superiore del tubo, e versandovi del mercurio; la pressione che esercita questa colonna di mercurio sopra l'aria che riempie il tubo tenuto verticale, la comprime, e finisce il mercurio col penetrare nel bulbo inferiore. Si dispone il tubo orizzontalmente, e allora una porzione dell'aria interna esce dal tubo; ripetendo alternativamente le posizioni, verticale e orizzontale, del tubo, s'empie quasi interamente. Si termina di empirlo riscaldando il bulbo nel modo descritto. Onde cacciar tutta l'aria si ricorre ancora all'azion del calore. Si fa bollire il liquido disponendo il termometro sopra una gratella di ferro, e circondandolo con carboni accesi in modo da riscaldarlo egualmente in tutti i suoi punti. Così facendo il mercurio bolle, il suo vapore discaccia tutta l'aria e tutta l'umidità; e mentre l'intero termometro è così pieno del liquido dilatato, si chiude l'estremità superiore del tubo fondendola con la lampada. Allorchè si adopera l'alcool si ha cura di lasciare una certa quantità d'aria nell'interno del tubo, la quale comprimendosi per la dilatazione dell'alcool riscaldato, s'oppone all'ebullizione di questo liquido, senza di che la colonna verrebbe presto interrotta.

Si tratta ora di graduare il termometro, e non basta perciò di dividere il tubo, e quindi la colonna liquida che vi è contenuta, in un certo numero di parti eguali. Onde rendere i termometri paragonabili fra loro, non può essere arbitrario il modo del-

la graduazione: è necessario di avere due punti di questa graduazione i quali corrispondano a temperature costanti e determinate, e che possano esattamente riprodursi in tutti i luoghi e in tutte le circostanze. Una di queste temperature è quella alla quale il ghiaccio o la neve si fondono. Si circonda perciò il termometro di ghiaccio pesto che comincia a fondersi e che è contenuto in un recipiente, il cui fondo è pertugiato a modo da lasciare scolare l'acqua che è prodotta dalla sua fusione. Il livello del liquido del termometro rimane stazionario dopo un certo tempo; e qualunque sia la temperatura alla quale si assoggetta questo ghiaccio in fusione, purchè l'acqua che si va formando possa scolare, rimane invariabile il livello del liquido del termometro. Si scrive *zero* a questo punto della colonna termometrica. Si procurerà di adoperare il ghiaccio formato con acqua pura. L'altro punto della graduazione termometrica corrispondente a una temperatura fissa ci vien dato dall'ebullizione dell'acqua pura. Se il termometro di cui lo zero è stato determinato, è introdotto e lasciato per un certo tempo immerso nell'acqua bollente, si vede la colonna del termometro sollevarsi per alcuni istanti, poi fissarsi ad un certo punto, in cui rimane stazionaria, qualunque sia l'energia della sorgente calorifica che s'adopera. Purchè l'acqua bolla, sia pura e alla pressione atmosferica di circa 0,^{m}76, il livello della colonna termometrica riman fisso in questo punto: ivi si segna o con inchiostro o col diamante, o si scrive sulla tavoletta unita stabilmente al termometro, un altro punto. La *scala termometrica* è costituita dall'intervallo che v'è fra questi due punti, il quale rappresenta l'aumento di volume che soffre il corpo termometrico passando dalla temperatura del ghiaccio in fusione a quella dell'ebullizione dell'acqua sotto la pressione barometrica di 0,^{m}76. Per esser certi di esporre il termometro alla temperatura dell' ebullizione dell' acqua, piuttosto che immergerlo nell'acqua stessa si usa d'immergerlo nella colonna del vapore acqueo che si solleva dall'acqua in ebullizione. Lo spazio compreso fra lo zero a cui la colonna s'è fissata a contatto del ghiaccio in fusione, e l'altro punto determinato dall'acqua in ebullizione, vien diviso in cento parti eguali, che chiamansi *gradi*. Questa divisione può prolungarsi e sotto lo zero e sopra il punto dell'ebullizione, scrivendo sulla tavoletta i numeri corrispondenti. Un termometro così graduato è quello che chiamasi centigrado. È certo che tutti gli strumenti, di cui verranno determinati i due punti fissi di temperatura colle regole descritte, e in cui si farà la divisione della lunghezza compresa fra questi in cento parti eguali, s'accorderanno perfettamente in tutte le circostanze. Scrivendo 80 nel punto in cui la colonna del termometro si ferma immersa nell'acqua bollente, si avrà il termometro di Reaumur, nel quale lo spazio compreso fra i due punti fissi è diviso in 80 parti eguali. E se invece di segnar 100 o 80, si scriverà 212 e si segnerà 32 al punto corrispondente allo zero, si avrà il termometro di Fahrenheit generalmente adottato in Inghilterra. È assai facile di tradurre le temperature espresse in gradi del termometro centigrado in quelle del termometro di Reaumur, o di Fahrenheit e reciprocamente. Infatti lo stesso intervallo è espresso da cento divisioni in un caso, da 80 nell'altro, e da 180 nel termometro inglese. Dai che si deduce che per esprimere un numero di gradi Reaumur in centigradi, convien prendere i $^{5}/_{4}$ di questo numero; e per convertirlo in gradi di Fahrenheit, si comincerà dal sottrarne 32 e si prenderanno i $^{5}/_{9}$ del rimanente.

Noi abbiamo sin qui supposto che i tubi dei termometri fossero perfettamente cilindrici, nel qual caso solo i gradi possono corrispondere a volumi eguali di mercurio, qualora lo spazio compreso fra il punto dello zero e quello dell'acqua bollente sia diviso in parti di eguale lunghezza; ma non è così che realmente si trovano, e assai di rado si trova in pratica questa perfezione di forma. V'è un mezzo assai facile per rendere la graduazione indipendente dalla cilindricità perfetta dei tubi. Tutto si riduce ad avere un modo per tracciare lungo il tubo dei volumi perfettamente eguali. A questo fine s'introduce nel tubo una piccola colonna di mercurio, la quale dovrà avere la stessa lunghezza in tutti i punti se il tubo è perfettamente cilindrico; e se non lo è, la colonna occuperà lunghezze diverse nei diversi punti. Queste lunghezze diverse segneranno però capacità o volumi eguali, e sono questi che c'importa d'avere nel nostro caso. Si comincia dal misurare la lunghezza della piccola colonna di mercurio, e si fa in seguito correre questa colonna nel tubo in modo che cominci dove finiva nella prima stazione; si prende in millimetri la lunghezza della colonna in questa seconda posizione. Si continua così a fare scorrere la colonna del mercurio per tutta la lunghezza del tubo. Si hanno in tal modo delle divisioni che sono perfettamente eguali. Ognuna di queste può allora dividersi in parti più piccole, le quali possono ritenersi eguali, essendo supponibile che il tubo conservi lo stesso diametro per ognuna di queste parti di eguale capa-

cità. Fatta questa divisione in parti di eguale capacità nel tubo, soffiato il bulbo ad una delle estremità, empito di mercurio, e tracciati i due punti fissi del ghiaccio fuso e dell'acqua bollente, non rimane che a segnare i gradi. Perciò si conta il numero n delle divisioni o spazi di egual capacità che si trovano compresi fra i due punti fissi; e poichè ogni grado del termometro deve contenere $\frac{n}{100}$ di queste divisioni, possono facilmente scriversi successivamente le linee di divisione corrispondenti ai gradi, e, volendo, ancora le loro suddivisioni.

È giusto che io vi faccia osservare che in un termometro costruito e graduato nel modo che vi è descritto, i gradi non corrispondono a degli accrescimenti eguali di volume del liquido adoperato. Rammentatevi di ciò che aveta veduto accadere nel primo istante in cui un termometro ad alcool o a mercurio a grosso bulbo, è immerso nell' acqua calda. Da prima la colonna liquida scende, poi rimane stazionaria, e quindi comincia e prosegue a salire. In questo caso il primo effetto è dovuto alla dilatazione della materia solida del bulbo e quindi al suo aumento di capacità: il liquido risale in seguito, perchè soffre una dilatazione maggiore dell'aumento di capacità del bulbo. È dunque realmente l'eccesso della dilatazione assoluta del liquido sopra l' aumento di capacità del bulbo, che cresce per quantità eguali da un grado all'altro; perciò è giusto di dire, che il termometro come lo abbiamo descritto, si fonda sopra la *dilatazione apparente* del liquido nel vetro.

Volendo avere un termometro in cui sia introdotto tanto mercurio, da poter indicare un determinato numero di gradi, conviene prima determinare la capacità del bulbo; e quindi importa conoscere la grandezza di questa dilatazione apparente. Dal peso del mercurio contenuto nel bulbo e in una certa lunghezza della colonna termometrica; e del peso di quello contenuto nel bulbo e in una maggior lunghezza della colonna stessa, è facile di concludere il rapporto della capacità del bulbo al volume di una delle divisioni del tubo. Graduato allora l'istrumento, sarà facile di determinare la dilatazione apparente della colonna termometrica per ogni grado del termometro. Il numero che esprime questa dilatazione apparente per ogni grado del termometro centigrado è ciò che dicesi *coefficiente della dilatazione apparente*; ed il suo valore trovasi coll'esperienza di $^1/_{6480}$ per il mercurio. Si abbia un volume di mercurio in un tubo termometrico che sia espresso da 6480 centimetri cubici ad una data temperatura; questo volume diventerà 6481 se la temperatura crescerà di un grado.

Malgrado le precauzioni suddette può cessare un termometro di essere esatto dopo un certo tempo. Flangergues e Bellani hanno scoperto che lo zero di un termometro variava dopo un certo tempo, e che questa variazione giungeva sino a portarlo a 2° sopra lo zero fissato in origine. Vi ho ricordato questo fenomeno parlandovi degli effetti della tempra. Non è di certo alla pressione dell'aria, che comprime la materia del bulbo e che non è equilibrata dall'aria interna tolta prima di chiudere il tubo, che deve attribuirsi questo fenomeno. Difatti si è osservato che accadeva ancora nei termometri lasciati aperti. È assai probabile che questa variazione di capacità nel bulbo provenga dal riprendere che fa il vetro riscaldato il suo volume. Legrand, che si è molto occupato di questo fenomeno, ha trovato che questa variazione nel bulbo è quasi nulla se è formato di cristallo, o vetro molto tenero. Può anche ripararsi a questo inconveniente adoprando termometri a cui la palla è stata soffiata da tre o quattro anni, e in cui è stato introdotto il mercurio da molto tempo.

Aggiungerò ancora che adoperando termometri costruiti con liquidi diversi, quantunque egualmente graduati, le loro indicazioni possono esser diverse; ed importa perciò, nell' esprimere una data temperatura, d'indicare il termometro che si è adoprato: così mentre un termometro a mercurio indicherà 75°, quello ad alcool segnerà 70° nelle stesse circostanze, e ne segnerebbe 87° un termometro costruito coll'acqua. Dipendono queste differenze dalle leggi di dilatazione dei diversi liquidi, che studieremo più innanzi. Importa encora di determinare i limiti delle temperature che possono misurarsi col diversi termometri. Per le temperature molto basse si adopera comunemente il termometro ad alcool, e per le alte quello a mercurio.

Dipenderà dalle dimensioni del bulbo rispetto a quel tubo, l'avera un termometro di cui i gradi sieno espressi da lunghezze diverse: quanto più il bulbo è grande e il tubo sottile, la lunghezza del grado sarà maggiore; se ne potranno conoscere le frazioni, e sarà per queste parte più precisa l'indicazione. Se non che in questo caso la massa del liquido essendo grande, si esige maggior tempo per mettersi in equilibrio colla temperatura del corpo che tocca. In questa guisa è meno sensibile e poco atto ad indicare le rapide variazioni di temperature. Un termometro a grosso bulbo richiede ancora

una gran quantità di calore, e messo a contatto di una piccola massa ne diminuisce sensibilmente la temperatura. Si usano perciò i termometri a mercurio, i di cui bulbi sono assai piccoli e sottilissimi i tubi; e onde distinguere il livello della colonna, invece di daro al vuoto interno del tubo una base circolare, si schiaccia, e in questo modo la colonna presenta da un lato una superficie abbastanza estesa.

Non voglio lasciarvi ignorare che si sono immaginati termometri, così detti a *massimi* e a *minimi*, nei quali l'indicazione rimane fissa. Questi servono a determinare le temperature dei luoghi inaccessibili e in generale ad indicare le più alte o le più basse temperature, senza che sia necessaria la presenza dell' osservatore. Quello di Ruteford (*Fig.* 26) consiste in due termometri a tubo orizzontale, portati sopra una stessa tavola e collocati in senso contrario. Il termometro A è ad alcool, e serve a determinare il minimo di temperatura. Vi è perciò nel tubo un cilindretto *a* di smalto, più sottile del tubo stesso, che si colloca sulla superficie della colonna liquida da cui è bagnato. Se il liquido si dilata, il cilindretto rimane al suo posto, e se in vece si contrae lo trasporta seco lasciandolo sempre nel punto più basso a cui è disceso. L'altro termometro B è a mercurio, e sopra la colonna liquida si colloca un cilindretto d' acciaio più sottile del tubo. Al dilatarsi della colonna il cilindretto è sollevato e abbandonato al punto il più elevato a cui è giunta. È facile di spiegarsi i movimenti dei due indici: la colonna dell' alcool è terminata da una superficie concava; e se il cilindro di smalto non segnitasse la colonna allorchè si contrae, diminuirebbe di necessità la curvatura di questa superficie, c l' eccesso di pressione che ne verrebbe, obbligherebbe l' indice a ritirarsi: il contrario si dica dell'indice d'acciaio che è spinto dalla colonna di mercurio.

Bellani ha pure immaginato un termometrografo che consiste in una colonna di mercurio contenuta in un tubo di vetro piegato ad U, terminata alle due estremità da due colonne di alcool, una delle quali termina in un recipiente cilindrico pieno di questo liquido. Posano due indici sulle estremità della colonna di mercurio, e questi sono formati da un tubetto di vetro avente un'anima di ferro e circondato da un anello di capelli, che colla sua elasticità regge l'indice al punto a cui lo porta la colonna di mercurio che lo ha spinto. Al principio di ogni osservazione si portano i due indici con una calamita a contatto del mercurio.

In questi ultimi tempi Magnus e Walfredin hanno proposto un nuovo termometro a massimi. Esso si compone di un termometro ordinario a mercurio il cui tubo è terminato da una piccola cavità posta lateralmente, nella quale si raccoglie il mercurio che è spinto fuori per l' allungamento della colonna del termometro.

I *pirometri* sono generalmente adoprati per determinare le alte temperature alle quali avviene la fusione di alcuni metalli, la cottura delle terraglie, porcellane ec. Gli strumenti più generalmente adoprati in questi casi non danno indicazioni esatte delle temperature che vi corrispondono. Il pirometro di Wedgwood si fonda sopra la diminuzione di volume che subisce l'argilla perdendo col calore l' acqua che vi è unita. Si formano perciò dei cilindretti d' argilla di eguali dimensioni, i quali si ascingano esponendoli alla temperatura del rosso oscuro. Per misurare la diminuzione di diametro che ha subito il cilindretto esposto ad una certa temperatura, si hanno due lamine di metallo fissate sopra una tavoletta e inclinate di un certo angolo, in modo che l'intervallo fra loro vada diminuendo da un'estremità all'altra. Il cilindretto entra da prima esattamente al principio del solco dove è segnato lo zero, e quanto più si è contratto pel calore, tanto più entra nel solco stesso.

Si fanno ancora dei pirometri con una verga metallica, che è fissa ad una estremità contro un pezzo di porcellana, e dall'altra s'appoggia contro il braccio corto di una leva falcata, di cui il braccio lungo scorre sopra un quadrante indicando i più piccoli allungamenti della verga di metallo. Con questi pirometri si può concludere che la temperatura è la stessa allorchè sono eguali le loro indicazioni, ed è questo che basta ordinariamente nelle arti.

Per le piccole variazioni di temperatura si ricorre a diversi termometri, fondati sopra la dilatazione dell'aria. Il più semplice di questi consiste in un tubo di vetro che ha una grossa palla ad una estremità, e nel cui interno si trova un indice di alcool colorato. Un lievissimo riscaldamento muove l'indice per un lungo tratto del tubo. Questo istrumento sensibilissimo non può fornire risultati esatti e comparabili senza ricorrere ad alcune cure particolari, e a correzioni che impareremo a fare parlando della dilatazione dei gas. S'intende facilmente che le variazioni della pressione barometrica spostano l'indice indipendentemente dalle variazioni di temperatura. Eccovi (*Fig* 5.) il termoscopio che abbiamo descritto. Il tubo *a b* terminato dal bulbo M pesca nel liquido colorato N, di cui una porzione è sollevata nel tubo.

Leslie ha immaginato un termoscopio che ha chiamato *differenziale*, e di cui le indicazioni sono più esatte di quelle del precedente. Consiste in un tubo A B C D (*Fig.* 3 e 4) di cui l'estremità sono terminate da due palle M ed N piene d'aria. Le braccia A B e C D sono molto lunghe, e l'indice è una colonna liquida di acido solforico colorato col carminio; quest'indice si solleva nelle due branche verticali. È chiaro che i movimenti di questa colonna sono indipendenti dalla pressione atmosferica, e non dipendono che dall'eccesso di temperatura che ha l'aria di una delle bolle sopra quella dell'altra. Se la temperatura è la stessa, non vi è alcun movimento nell'indice; ma se una delle palle è più riscaldata o più raffreddata dell'altra, l'indice si muoverà, andando sempre verso quella delle due palle, la cui temperatura è più bassa. Questo genere di termoscopio indica così la differenza di temperatura dell'aria delle due palle, ed è perciò che si chiama termometro differenziale. Basta per graduare quest'istromento, di riscaldare l'aria di una delle due palle di dieci gradi sopra quella dell'altra: lo spazio percorso dall'indice è diviso in cento parti, che sono i gradi del termometro differenziale. Rumford aveva immaginato nello stesso tempo di Leslie, un termoscopio costruito egualmente, se non che il tubo era capillare, assai lunga la porzione orizzontale B C, l'indice era corto e di mercurio, e la graduazione era fatta interamente sopra questa porzione orizzontale.

V'è ancora un altro effetto del calore, di cui ci siamo giovati in questi ultimi tempi per misurarne l'intensità. Nelle lezioni sull'Elettricità avete visto come il calore propagato in certi corpi eterogenei produceva una corrente elettrica, la cui intensità può misurarsi al galvanometro. Le pile termo-elettriche che vi ho descritte congiunte con un galvanometro molto sensibile, costituiscono oggi il termometro più sensibile che possediamo. Quest'istromento immaginato da Nobili, fu da lui chiamato *Termo-moltiplicatore*.

LEZIONI LXX e LXXI.

Dilatazione assoluta del mercurio. — Leggi generali delle dilatazione dei liquidi. — Massimo di densità dell' acqua. — Dilatazione dei corpi solidi. — Pendoli a compenso. — Termometro di Breguet — Forza sviluppata nella dilatazione dei solidi. — Dilatazione dei gas. — Confronto fra i termometri di diversi corpi. — Termometro a gas. — Pirometro a gas. — Movimenti nell' aria prodotti dal riscaldamento.

Il termometro a mercurio, che abbiamo imparato a costruire con esattezza, a graduare e a rendere perciò comparabile, è un istromento i cui gradi corrispondono a tante temperature determinate, e costantemente le stesse: non si creda però che quest'istromento ci dia colle sue indicazioni i rapporti fra le diverse intensità e quantità di calore che le producono. Perchè il termometro indica in un corpo una temperatura doppia di quella che trovasi in un altro, non si può da ciò concludere che contenga una quantità doppia di calore, o che doppia sia la sua intensità in questo secondo corpo.

Prima di giungere a questa determinazione, importa che confrontiamo fra loro le dilatazioni dei diversi corpi e che determiniamo le leggi di queste dilatazioni. Cominceremo perciò dal cercare per ogni corpo delle quantità di cui cresce l'unità del suo volume per ogni grado di temperatura del termometro centigrado a mercurio. Questo termine, che chiamasi il *coefficiente* della dilatazione, determinato per le diverse temperature, ci farà conoscere se i corpi si dilatano sempre uniformemente, o secondo qual'altra legge questa dilatazione avviene.

Se esistesse un corpo che non si dilatasse per l'azion del calore, basterebbe di costruire con questo un termometro, e d'introdurvi diversi liquidi per determinare il loro coefficiente di dilatazione.

L'aumento di volume che il liquido soffrirebbe riscaldato da zero a 100°, diviso per 100, sarebbe il coefficiente di dilatazione che si cerca. Si comincia perciò dal prendere un tubo di vetro calibrato, e già si è detto come questo possa ottenersi in tutti i casi. Per determinare il rapporto della capacità che passa fra un grado o una divisione del tubo e il volume della palla che è ad un'estremità, basta d'empiere di mercurio la palla e una porzione del tubo, e di pesare il termometro così pieno. Si aggiunge nuovo mercurio nel tubo, e si pesa di nuovo. La differenza fra questi due pesi, è il peso del mercurio che occupa la porzione di scala aggiunta. Dividendo questo peso pel numero dei gradi della scala, si deduce il peso del mercurio per un grado. Basterà infine di sottrarre dal primo peso quello dei gradi occupati dalla colonna, per avere il peso

del mercurio contenuto nella sola palla, questo peso diviso per il peso del mercurio che occupa un grado, dà per quoziente un numero che esprime in gradi il volume della palla. Allorchè si è così determinato il rapporto fra il volume della palla e quello di un grado della scala, non si ha che ad introdurvi il liquido di cui si vuol determinare il coefficiente di dilatazione, e a riscaldarlo da zero a 100°. Se non che la dilatazione che così s'ottiene, è quella che abbiamo chiamata *apparente*. Col dilatarsi della materia che compone il tubo ed il bulbo, cresce la loro capacità, e la dilatazione della colonna liquida non è che l'eccesso della dilatazione assoluta del liquido sopra quella del vetro. Da questa dilatazione apparente del mercurio, una volta che fosse nota la sua dilatazione assoluta, si potrebbe facilmente determinare quella del vetro.

Dobbiamo a Dulong e a Petit un processo semplicissimo onde ottenere la dilatazione assoluta del mercurio. Risovvenitevi delle condizioni d'equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti. Allorchè in due larghi tubi di vetro A e D (*Fig.* 15) che sono in comunicazione per mezzo di un tubo sottile orizzontale B C, si versa un liquido qualunque, perchè le pressioni siano eguali è necessario che le due colonne siano allo stesso livello; e se i liquidi dei due tubi sono diversi, le altezze delle due colonne liquide devono essere reciprocamente proporzionali alle loro densità.

Supponiamo di empire di mercurio il nostro tubo ABCD, e di aver disposto l'apparecchio in modo che il liquido di uno dei tubi sia tenuto costantemente alla temperatura di 0°, mentre nell'altro tubo la temperatura possa alzarsi. È chiaro che dilatandosi questo liquido diminuirà di densità, e perchè l'equilibrio sussista dovrà crescere l'altezza della colonna. Dalle differenze di lunghezza delle due colonne possono dedursi immediatamente le dilatazioni che in una di queste colonne avvengono per le diverse temperature a cui è esposta. Le lunghezze delle due colonne sono in ragione inversa delle loro densità, le densità in ragione inversa dei volumi, e perciò le altezze proporzionali ai volumi. L'allungamento che soffre una delle colonne liquide e in questo modo affatto indipendente dalla forma del vaso, ed è perciò proporzionale all'accrescimento di volume che il liquido proverebbe, supponendo che fosse contenuto in recipienti di forma invariabile dal calore. I signori Dulong e Petit non trascurarono cautele per procedere in queste ricerche. L'apparecchio intero è descritto nella *Fig.* 16. A B B' A' è il tubo ricurvo che contiene il mercurio, e che si compone dei due larghi tubi A B e A' B' che sono riuniti da un tubo orizzontale B B' assai sottile e di un egual diametro in tutti i punti. Gli effetti della capillarità sono tolti con questa costruzione, la massa del mercurio è la minore possibile. Il tubo orizzontale riposa sopra una grossa sbarra di ferro M N, sulla quale vi sono due livelli a bolla d'aria posti ad angolo retto, e destinati a verificare l'orizzontalità della sbarra stessa. Per mantenere costantemente a zero la temperatura del liquido del braccio A B, si circonda di un cilindro di latta ben riunito sulla sbarra, che s'empie di ghiaccio triturato. Per innalzare la temperatura dell'altro braccio A' B' si adopera un cilindro di rame che lo circonda, e che è fissato sopra la sbarra per mezzo di due appendici R R', S S'. Questo cilindro ha sotto un fornello, e al cominciare dell'esperienza s'empie d'olio. Dulong e Petit adoperarono tre termometri per determinare con esattezza la temperatura del bagno. Uno di questi è un termometro ordinario a recipiente cilindrico, sito quanto lo è il tubo: in tal modo il termometro indica la temperatura media dei diversi strati del bagno. Conviene correggere le indicazioni di questo termometro dall'errore che è prodotto per esser fuori del bagno la colonna del tubo termometrico. L'altro termometro che vedesi in *a b* è il così detto *termometro a pesi*. Esso consiste in un largo tubo di vetro che s'empie di mercurio a zero, e si pesa. Riscaldato che sia, una porzione del mercurio esce, e dal peso della porzione escita, paragonato al peso primitivo del mercurio, è facile di dedurre la temperatura a cui fu esposto. Il terzo termometro adoperato dai due Fisici francesi era quello ad aria, di cui vi parlerò più innanzi, e che vedesi in G H K. Infine la determinazione delle altezze era fatta per mezzo di cannocchiale orizzontale mobile sopra un regolo verticale diviso, e munito di verniero.

Dulong e Petit dopo aver ripetuta molte volte l'esperienza descritta hanno stabilito, che il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio era espresso da $^1/_{5550}$ per ogni grado del termometro centigrado. Basterebbe questo resultato a provare l'aumento di capacità che ha luogo nel recipiente termometrico allorchè s'innalza la sua temperatura. Ricordatevi che è $^1/_{6480}$ il numero che esprime la dilatazione del mercurio contenuto nel tubo termometrico; la differenza fra questi due numeri deve attribuirsi all'accrescimento di capacità del recipiente. Potremo anzi da questa differenza dedurre la dilatazione del vetro che forma il recipiente termometrico. Difatti l'accrescimento di capacità di questo recipiente equivale alla dilatazione che proverebbe un volume di ve-

tro tutto solido eguale alla capacità del recipiente stesso, e soggetto a quella temperatura. L'aumento di volume di un corpo solido omogeneo non accadrà diversamente, sia che si supponga formato di un sol pezzo, o di diversi strati sovrapposti e contigui: tanto in un caso che nell'altro la dilatazione si effettuirà come se questo strato fosse solo. Il coefficiente di dilatazione del vetro è stato determinato nel modo seguente: questo numero è $^1/_{38700}$ del suo volume a 0° per ogni grado del termometro centigrado e per le temperature comprese fra zero e cento. È possibile, con un tal metodo, di giungere alla determinazione del coefficiente di dilatazione per tutti quei corpi solidi che possono prendere la forma di un recipiente termometrico. Basterà perciò di riempire il recipiente termometrico di mercurio a zero, e di raccogliere il liquido che esce riscaldandolo ad una certa temperatura. Sia *p* il peso del mercurio escito: se questo peso è diviso per il peso del mercurio rimasto nel recipiente, si ha una frazione che esprime la dilatazione apparente dell'unità di volume dei mercurio da 0° alla temperatura a cui è stato riscaldato. E sottraendo dalla dilatazione assoluta l'apparente, s'ottiene il coefficiente di dilatazione del corpo solido che costituisce il recipiente.

Petit e Dulong adoperarono ancora un altro metodo per determinare la dilatazione dei corpi solidi, il quale si fonda pure sugli stessi principi. Introducevano in un recipiente di vetro pieno di mercurio a zero un pezzo di ferro o di un altro corpo qualunque, di cui volevano determinare la dilatazione. Il tubo così disposto si esponeva ad una certa temperatura, e si aveva cura di raccogliere e pesare il mercurio che ne esciva. È chiaro che il volume del mercurio escito nel passare da una temperatura all'altra ci è dato dalla dilatazione assoluta del mercurio nell'apparecchio, e più da quella del ferro o corpo immerso, meno quella del vetro. La prima o l'ultima essendo conosciute, è facile di dedurre quella del ferro e del corpo immerso.

Era importante di determinare il coefficiente di dilatazione assoluta dei diversi liquidi, e di scoprire se a tutte le temperature misurate col termometro centigrado a mercurio il coefficiente rimaneva costante, o, ciò che torna lo stesso, se la loro dilatazione era uniforme. Il risultato generale al quale si è giunti con un gran numero di ricerche, è che la dilatazione dei diversi liquidi non si opera per tutti uniformemente, e che in generale allorquando son prossimi a quelle temperature che corrispondono al loro cambiamento di stato, cioè alla loro evaporazione o congelazione, le dilatazioni o le contrazioni son soggette a grandi anomalie. Trovasi ancora che avvicinandosi alla temperatura a cui si convertono in vapore, le loro dilatazioni crescono più rapidamente. È questo un risultato assai facile a stabilirsi confrontando le dilatazioni che avvengono in diversi termometri costruiti con vari liquidi, ed egualmente graduati. Questi istrumenti esposti a una data temperatura dovrebbero in tutti i casi trovarsi d'accordo, qualora le colonne liquide si dilatassero tutte uniformemente. Ma non trovasi così coll'esperienza. Ecco i numeri determinati da alcune esperienze di Davy confrontando del termometri a mercurio, ad alcool, ad olio d'oliva, ad acqua, e ad acqua salata.

Mercurio.	*Alcool.*	*Olio d'oliva.*	*Acqua.*	*Acqua salata.*
100°	100°	100°	100°	100°
75	70,25	74,1	57,25	71,37
50	43	49	25,6	45,37
25	20,6	24,1	5,1	21,6
0	0	0	0	0

La semplice ispezione di questo quadro mostra come i diversi liquidi si dilatino irregolarmente, e come sia vero che si dilatino più uniformemente quelli che bollono ad una temperatura molto elevata. Si cadrebbe perciò in un grande errore adoperando indifferentemente un liquido qualunque per costruire il termometro.

L'acqua presenta un fenomeno ben curioso e che la distingue dagli altri liquidi, nella sua dilatazione. Allorchè la temperatura di un dato volume di questo liquido si abbassa da 100° a 4°, il suo volume diminuisce, ed aumenta per conseguenza la densità; ma se la temperatura continua ancora ad abbassarsi da 4° verso 0°, la sua densità in vece diminuisce, ed avviene che si dilata nel raffreddarsi maggiormente. È assai facile determinare coll'esperienza questo *massimo di densità*. Ricordatevi che un corpo immerso in un liquido perde una porzione del suo peso, eguale al peso del liquido

spostato, e che perciò questa perdita di peso varia colla densità del liquido. Supponete di pesare un corpo di un volume determinato tenendolo immerso nell' acqua a diverse temperature ; è certo che la temperatura del massimo di densità sarà quella dell' acqua in cui è maggiore la perdita del peso fatta dal corpo immerso. Le molte osservazioni di Hailstrom hanno determinato precisamente questo massimo di densità dell' acqua a 4°,108; a 8° una data massa d'acqua occupa sensibilmente lo stesso volume che ha a zero. Eccovi ancora un altro metodo molto semplice per scoprire questo massimo di densità dell' acqua , e la temperatura che gli corrisponde. Si abbia (*Fig.* 43) un recipiente cilindrico di vetro munito di due tubulature , per le quali sono introdotti due termometri *m* ed *m'* che si trovano perciò ad una diversa distanza dal fondo. Questo tubo è circondato nel suo mezzo da una specie d'imbuto nel quale si mette un miscuglio di ghiaccio e sale, di cui la temperatura può esser di circa 18° sotto 0°. Empio d' acqua il cilindro e veggo abbassarsi la temperatura dei due termometri, e dopo un certo tempo fissarsi a quattro gradi il termometro inferiore, mentre l' altro segna zero. Anche senza osservare i termometri, potete scorgere che mentre l' acqua è liquida al fondo , è già congelata alla superficie. Ecco come è accaduto questo fenomeno. Tutte le parti dell' acqua a contatto della zona fredda principiano dal raffreddarsi, diventano perciò più dense , e scendono al fondo; se l' acqua non avesse un massimo di densità , il termometro inferiore seguerebbe sempre la temperatura più bassa. L' acqua giunta a quattro gradi di temperatura seguita a scendere al fondo, ma allorquando questo liquido a contatto della zona fredda è portato ad una temperatura inferiore a quattro gradi, non può più scendere , giacchè è meno denso. Ecco perchè cercando la temperatura indicata dal termometro più basso, si è certi di ottenere quella del massimo di densità dell' acqua.

Ermann figlio cercando di scoprire se vi era questo massimo di densità nelle soluzioni di sal marino , aveva trovato che la presenza di questo sale tendeva ad abbassar verso zero la temperatura del massimo di densità, e che questo massimo non esisteva più in una soluzione molto carica di sale. L' esperienze recenti di Despretz hanno stabilito che tutte le soluzioni saline posseggono un massimo di densità , di cui la temperatura è tanto più prossima a quella della loro congelazione , quanto più è grande la quantità del sale che vi è disciolta. Ha trovato questo Fisico che in certe soluzioni saline molto dense , il massimo di densità ha luogo ad una temperatura inferiore a quella della loro congelazione , nel qual caso si giunge a determinarla adoprando quelle precauzioni che vedremo esser necessarie per abbassare la temperatura di un liquido al di sotto del punto della sua congelazione, conservandolo tuttavia allo stato liquido. Così una soluzione di sal marino che si congela a 4°,3 sotto zero , ha il suo massimo di densità a 16°,5 sotto zero.

Questo fenomeno singolare dell' acqua ci spiega perchè il fondo dei grandi laghi ha costantemente nell' inverno , mentre è gelato alla superficie o la sua temperatura è prossima a zero , una temperatura più elevata, che è di circa 4°. Accade in queste masse di acqua quello che avviene nell' esperienza or ora descritta. Il liquido della superficie si raffredda, si fa più denso, scende al fondo , e cessa di scendere allorchè è raffreddato al disotto di 4° , perchè al disotto di 4° cessa di prendere una maggior densità, facendosi invece più leggiero. Nelle acque correnti questo fenomeno non si osserva , perchè i diversi strati si mescolano continuamente per il moto della corrente. V' è ancora un altro fenomeno naturale , di cui la spiegazione ci è offerta da questa massima densità dell' acqua. Nelle ghiacciaie delle Alpi si formano , nell' estate , dei fori profondi che chiamansi *pozzi del ghiaccio*. Il calore solare fonde la superficie di questo ghiaccio; e se v' è qualche punto che riceva maggior calore, se v' è qualche foglia o corpicciuolo qualunque sparso sul ghiaccio, in questo la fusione si opera più facilmente. Si ha in tal guisa una cavità nella quale l'acqua s' accumula , e di cui la superficie si riscalda sopra zero : prende perciò una densità maggiore dell' acqua che è al fondo della cavità ; scende l' acqua più calda e ne fonde perciò le pareti , e intanto sale l' acqua che era a zero. Questa riscaldata discende ancora, mentre l' acqua discesa prima ha già presa la temperatura dello zero, e si è innalzata. In tal modo continuasi la fusione del fondo , e la cavità si fa più profonda.

Si è visto come poteva ottenersi la dilatazione dei corpi solidi , determinata che sia la dilatazione assoluta del mercurio. Questa dilatazione può ancora ottenersi con un metodo diverso. Si può cioè determinare direttamente la dilatazione lineare dei solidi; e poichè questi , supposti omogenei e non cristallizzati , devono dilatarsi egualmente in tutte le direzioni , basterà di triplicare la dilatazione lineare per averne la dilatazione cubica o in volume. Per i corpi cristallizzati si è trovato che non si dilatavano della stessa quantità in tutte le direzioni, ed è questa la cagione per cui alcuni sali

si riducono in frammenti, *decrepitano*, allorchè sono riscaldati.

Lavoisier e Laplace cercarono i primi di determinare la dilatazione lineare dei corpi solidi. L'istrumento di cui si servirono, consisteva in una specie di quel pirometro che abbiamo già descritto. La sbarra riscaldata s'appoggia con una sua estremità contro un ostacolo; l'altra s'allunga, e l'allungamento è misurato dal movimento di rotazione comunicato ad un cannocchiale. Vedesi chiaramente che l'esattezza di questo processo riposa per intiero sulla stabilità dell'ostacolo che si suppone immobile. adoperando sbarre molto lunghe vengono a diminuirsi gli errori che risultano dalla non perfetta immobilità di questo ostacolo. Quanto alla misura degli allungamenti, piuttosto che cercare d'ingrandirli con movimenti di leve o di ruote dentate, è sempre più utile di misurarli direttamente.

Ecco alcuni dei numeri che si sogliono dare per la dilatazione lineare di varie sostanze riscaldate da 0° a 100°: vetro da lastre $^1/_{1122}$, cristallo $^1/_{1147}$, rame $^1/_{534}$, ottone $^1/_{535}$, ferro dolce $^1/_{819}$, acciaio non temprato $^1/_{926}$, platino $^1/_{1167}$. Questi valori delle dilatazioni lineari sono stati più esattamente determinati dall'esperienze di Dulong e Petit, fondandosi sui processi che abbiamo descritti. È naturale che ciò sia poichè la determinazione delle dilatazioni lineari è fatta da questi Fisici dividendo per 3 le dilatazioni cubiche, e quindi riducendo ad un terzo gli errori delle osservazioni.

Il risultato generale delle molte ricerche tentate sopra la dilatazione dei solidi, è che questi, per le temperature comprese fra 0° e 100°, si dilatano uniformemente o proporzionalmente alla temperatura, valutata in gradi del termometro a mercurio. Per il solo acciaio temprato il coefficiente di dilatazione varia fra questi limiti di temperatura; ed è naturale che questo avvenga qualora si consideri, che il calore modificando la tempera dell'acciaio e quindi la sua elasticità e durezza, deve in qualche modo variarne la struttura fisica.

La dilatazione dei corpi solidi, benchè piccola per se stessa, produce tuttavia in verghe molto lunghe degli allungamenti, che non possono trascurarsi in alcune circostanze. I tubi di ghisa, o acquedotti, quando siano stabilmente riuniti, non mancano mai di rompersi per le variazioni ordinarie di temperatura. S'intenderà facilmente quest'effetto della dilatazione se si considera che la forza colla quale i corpi tendono ad aumentar di volume per un accrescimento di temperatura è eguale allo sforzo che converrebbe fare per comprimerli di una quantità eguale a quella di cui si dilatano: lo stesso si dica della forza con cui si contraggono per il raffreddamento, che è evidentemente eguale allo sforzo che converrebbe fare per allungarli di quella quantità di cui si contraggono. È dunque considerabile questa forza sviluppata dalle variazioni di volume, poichè si sa che occorrono grandissime pressioni per diminuire d'una picciolissima quantità il volume di un corpo solido. Non posso lasciarvi ignorare un'applicazione ingegnosissima fatta da Molard, della forza spiegata dalle variazioni di volume prodotte in un sol do dal calore. Nel Conservatorio di arti e mestieri di Parigi v'erano due muri laterali di una galleria che si erano assai inclinati per il peso della volta sostenuta. Molard imaginò, per raddrizzarli, di farli traversare da grosse sbarre di ferro terminate esternamente in viti. Riscaldando queste sbarre escivano maggiormente dai muri; e mentre erano così allungate furono girate le madreviti a modo, da stringerle fortemente contro i muri. Nel raccorciarsi per il raffreddamento, le sbarre tiraron seco i muri e li rimisero al posto.

Sulla dilatabilità dei solidi si fonda un mezzo molto utile a rendere esatti gli orologi a pendolo. Poichè il calore fa variare la lunghezza dell'asta del pendolo, ne viene che i suoi movimenti ora sono accelerati, ora ritardati. Per correggere questo inconveniente si è immaginato di appendere la lente ad un sistema di più sbarre fatte di diversi metalli di varia dilatabilità. L'asta F G (*Fig.* 39) che porta la lente, è sospesa ad un telaio di rame *f e e f* che colla sua parte inferiore riposa sopra un altro castello di ferro *c d d c*; quest'ultimo è fisso alla parte superiore di un altro telajo di rame *a b b a*, il quale pure riposa sulla traversa inferiore di un gran telaio di ferro A B C D. È chiaro che per questa disposizione mentre tutti i telai di ferro tendono a far discendere la lente, quelli di rame la farebbero rimontare; e poichè il rame si dilata più del ferro, si possono sempre determinare le lunghezze relative delle verghe di ferro e di rame in modo, che la lente resti costantemente alla stessa distanza dal punto di sospensione.

Un altro pendolo compensatore si fonda sulla curvatura che le variazioni di calore fanno prendere al sistema di due lamine di metalli diversi, riunite insieme con viti o con saldatura. Quando la temperatura cambia, le dilatazioni o le contrazioni dei due metalli essendo disuguali, la doppia lamina *a b* (*Fig.* 59) cessa d'esser piana e s'in-

curva in modo che il metallo più dilatabile possa prendere una lunghezza maggiore o minore dell' altro, occupando così la convessità o la concavità della curva formata. Se delle masse di un metallo molto pesante sono fisse all'estremità di questa doppia lastra impiantata perpendicolarmente nell'asta del pendolo, e se il metallo più dilatabile è rivolto in basso, le masse s' innalzeranno quando l' asta s'allungherà, e così rimonterà il centro di gravità del pendolo, mentre tendeva a scendere per l' allungamento del l'asta. Accadrebbe il contrario per un abbassamento di temperatura. È questo il pendolo compensatore che si applica al bilanciere circolare, il quale regola il movimento degli orologi da tasca e dei cronometri.

Breguet ha immaginato un termometro metallico molto sensibile, fondandosi sopra il principio di questo pendolo compensatore.

Questo termometro (*Fig.* 38) si compone di una spirale metallica M N che è fissata in una pinzetta, e stretta a vite ad una estremità. Questa estremità della spirale è sostenuta da un braccio Q P fisso sopra un piano A B. All'altra estremità libera della spirale è unito perpendicolarmente un ago *a b* che serve da indice, scorrendo sopra un circolo graduato. Il tutto è coperto da una campana di vetro. La spirale di questo termometro si compone di una sottilissima lamina fatta di tre altre lamine saldate insieme, di platino, d'oro e d'argento, e la spirale è disposta in modo che l'argento ne occupa la concavità. Poichè questa lamina d' argento si dilata e si contrae per le variazioni di temperatura assai più delle altre due lamine, deve di necessità la spirale distendersi o contrarsi, diminuire o aumentare di curvatura per le variazioni di calore. La lamina d'oro interposta non fa che moderare questi movimenti, giacchè l'argento dilatandosi molto più del platino, potrebbero le variazioni assai brusche di temperatura portare la rottura o la separazione delle due lamine. Questo termometro è estremamente sensibile; basta di avvicinare una mano alla spirale perchè l'indice si muova all'istante di molti gradi. S'intende presto questa maggiore sensibilità, riflettendo quanto è piccola la massa della spirale che deve scaldarsi, e quanto è grande la sua conducibilità per il calore.

Parliamo in fine della dilatazione dell'aria e degli altri gas. Benchè questi corpi si dilatino molto più dei corpi liquidi e dei solidi, tuttavia è stato assai difficile di determinare il loro coefficiente di dilatazione, conveniva perciò eliminare una cagione di errore che assai facilmente s'incontra operando sopra questi corpi, quale è la presenza del vapore acqueo. Eccovi due recipienti di eguale capacità e pieni d' aria, che riscaldo alla stessa temperatura; l'aria si dilata, esce, e posso determinare quanta n'è escita, portando l'aperture dei due recipienti sotto il mercurio o l'acqua. L'aria dei recipienti si raffredda, diminuisce di elasticità, o la pressione atmosferica forza il liquido ad elevarsi nei recipienti stessi e ad occupare il volume dell'aria escita. Vedete però una gran differenza nel volume del liquido che si è sollevato nei due recipienti; in quello in cui v'era un poco d' acqua che s' è convertita in vapore, è maggiore la quantità del liquido che si è introdotto. È naturale che così sia, poichè noi vedremo che un volume d' acqua che si converte in vapore, occupa uno spazio che è 1700 volte maggiore di quello che ha allo stato liquido. Il vapore che si è formato ha discacciato dal recipiente una porzione dell' aria. Gay-Lussac per il primo ha allontanato questo errore prodotto dalla presenza del vapore acqueo nei gas, prendendoli allo stato secco. Ecco l'apparecchio, ed il metodo che Gay-Lussac ha tenuto in queste ricerche. All'estremità di un tubo A (*Fig.* 45) di vetro, diviso in parti di eguale capacità col metodo descritto nella precedente lezione, si soffia un recipiente sferico o cilindrico, e si determina esattamente il numero delle divisioni del tubo, che rappresenta la sua capacità. Si comincia coll'empire di mercurio questa specie di termometro, e poscia si fa bollire il mercurio per cacciarne l'aria e l'umidità. Il gas che poi vi s'introduce deve prima attraversare il tubo addizionale M N, il quale è pieno di quelle sostanze che sono avide di umidità, come p. es. la calce, il cloruro di calcio, ec. Per empire d'aria o di un gas qualunque il termometro e far sortire nello stesso tempo il mercurio, s'introduce nel tubo termometrico, passando dentro al tubo addizionale, un filo di platino, ed allora con alcune scosse date all'apparecchio, si giunge facilmente e riempire il termometro di gas. Si ritira il filo di platino allorchè non rimane nel tubo che una piccola quantità di mercurio, la quale separa il gas del termometro dall'aria esterne, e serve da indice; il tubo rimane aperto. Quest'istrumento tenuto orizzontale, è introdotto in una cassa di latta M P Q N (*Fig.* 52), a modo che il solo tubo esca all'esterno dalla parete della cassa. Allora s'empie di ghiaccio in fusione la cassa di latta, e si determina sul tubo la divisione alla quale l'indice s'arresta. Essendo conosciuta la capacità della bolla in gradi del tubo, si deduce da questa prima osservazione il volume occupato dal gas alla

temperatura di 0°. Allora scaldando l'acqua della cassa per mezzo del fornello su cui poss, e determinando le varie temperature per mezzo dei due termometri a mercurio che vi sono immersi, si può facilmente stabilire l'aumento di volume che subisce il gas, leggendo i gradi marcati dall'indice. Non v'è che una precauzione da aversi in quest'esperienze, ed è quella di osservare il barometro, e di assicurarsi che la pressione atmosferica non ha cangiato nel tempo dell'osservazione. Se questo fosse accaduto, il volume del gas avrebbe variato, indipendentemente dalla temperatura. Se si suppone costante questa pressione, e se si trascura la variazione di capacità del recipiente del nostro termometro, ciò che può sempre farsi per la grande differenza di dilatabilità fra il vetro o l'aria, si ha immediatamente la dilatazione totale dell'unità di volume del gas sperimentato, per la variazione di temperatura compresa fra 0° e T°. Chiamando 1 il volume primitivo del gas a zero, si trova che riscaldando da 0° a 100° il suo volume è divenuto 1 più una frazione. Gay-Lussac ha determinata questa frazione in rapporto al volume primitivo, ed ha trovato che per tutti i gas è espressa in decimali dal numero 0,375. Sia V il volume del gas a 0°, e V' il volume a 100°. V'—V è l'aumento di volume, che sta al volume primitivo come 1 a 0,375. Lo stesso Fisico ha trovato che questo coefficiente di dilatazione del gas, cioè la quantità di cui si dilata un volume di un gas preso per unità alla temperatura di 0°, passando da 0° a 100°, era lo stesso per tutti i gas. Questa frazione espressa in decimali dal numero 0,375 per l'intervallo da 0° a 100°, sarà per un grado la centesima parte, cioè 0,00375, la quale espressa in frazione ordinaria si trova $= \frac{1}{267}$.

Questo risultato è così importante, che lo amo d'esprimervelo in altri termini. Abbiamo detto che se si prende un gas qualunque, e se si riscalda un dato volume di questo gas a 0°, cho è preso per unità, si trova che per ogni grado del termometro centigrado si dilata di $\frac{1}{267}$ del suo volume. Invece di rappresentare il volume del gas a 0° coll'unità, esprimiamolo con 267, la legge di Gay-Lussac ci dice, che dilatandosi, per un grado del termometro il volume del gas diventa 268, per due 269, ed in fine per T°, 267+T.

Nell'apparecchio che abbiamo adoperato il gas si dilatava, rimanendo però sempre soggetto alla stessa pressione: il tubo è aperto, e se la pressione dell'atmosfera non varia nel tempo dell'esperienza, è certo che non varia la pressione a cui è soggetto il gas contenuto nel termometro, e separato per mezzo dell'indice di mercurio dall'aria esterna. È facile d'intendere ciò che accadrebbe se il gas fosse riscaldato, senza che potesse dilatarsi: supponiamolo contenuto in un recipiente non estendibile, e chiuso esattamente. La forza elastica del gas crescerà nel rapporto stesso con cui cresce il suo volume per quell'aumento di temperatura che soffre.

Se nel passare da 0° a 100°, il suo volume aumenta nel rapporto di 1 a 1,375; per ridurre questo volume di nuovo ad uno, converrà, per la legge di Mariotte, aumentarne la pressione nel rapporto inverso dei volumi, cioè di 1:1,375. Quindi per impedire che si dilati, scaldato da 0° a 100°, converrà crescere la pressione nel rapporto di 1 a 1,3750, o, ciò che torna lo stesso, la sua forza elastica crescerà in questo medesimo rapporto.

Qualora si ammettesse che le variazioni di volume o di forza elastica del gas fossero proporzionali alle quantità assolute del calore che le producono, potrebbe dirsi che per ogni grado che si abbassa la temperatura di un dato volume di gas, perde $\frac{1}{267}$ del calore che contiene a zero, e che perciò portato alla temperatura di 267 sotto zero, il gas avesse perduto tutto il calore. Sarebbe questa temperatura dello zero assoluto. Non può negarsi che è assai ingegnosa questa considerazione di Clement; ma per ammetterla, convien supporre provata sino a quella temperatura l'uniforme dilatazione o contrazione del gas, e la proporzionalità fra la quantità del calore e la dilatazioni che producono.

Gay-Lussac non si è contentato di misurare la dilatazione dei gas fra zero e cento; lo ha fatto per delle variazioni intermedie di temperatura, ed ha trovato che la dilatazione da 0° a 50° è la metà di quella che è per 100°, e che in generale la dilatazione è uniforme o proporzionale allo temperatura. Dulong a Petit hanno stabilito che sotto tutte le pressioni e a tutte le temperature è costante il coefficiente di dilatazione del gas e sempre identico per tutti. L'eguaglianza di dilatazione di tutti i gas è stata stabilita da 36° sotto zero, a 360° sopra zero, aperando contemporaneamente sopra due termometri, uno ad aria a l'altro a idrogene. L'uniformità di dilatazione per uno stesso gas, che si verifica da 36° sotto zero fino a 100°, non si verifica per le temperature più elevate, contando queste con termometro a mercurio. Il coefficiente di dilatazione del mercurio cresce perciò coll'alzarsi della temperature, qualora queste si determinino col termometro ad aria. È per ciò che se si a-

vesse un termometro ad aria, graduato direttamente, e si confrontasse con un termometro a mercurio, cesserebbe di esser d'accordo con questo nelle indicazioni al di là di 100°. Allorchè il termometro ad aria indica 300°, quello a mercurio segna 307,64. L'esperienze di Petit e Dulong hanno stabilito, che per tutti i metalli si verifica questo risultato.

Conviene ch'io vi dica che Rudberg ha ridotto il coefficiente di dilatazione dei gas a 0,3646 invece di 0,375, che è il numero determinato da Gay-Lussac. Regnault ha recentemente variato ancora questo numero, portandolo a 0,3665. Egli avrebbe altresì trovato che l'acido carbonico ha un coefficiente di dilatazione più grande di quello dell'aria, e che i soli gas semplici hanno tutti lo stesso coefficiente di dilatazione.

Dopo avere esposte le leggi generali della dilatazione dei corpi, siamo in caso di poterci decidere nella scelta del termometro. L'azione del calore sopra un corpo è costantemente modificata dall'intervento dell'attrazione molecolare, ed è evidentemente a questa forza, tanto varia nei corpi solidi e liquidi, che devesi attribuire l'ineguale dilatazione di volumi eguali dei diversi corpi per gli stessi cangiamenti di temperatura, e la diversità delle leggi delle loro dilatazioni. L'azione uniforme del calore sopra tutti i gas permanenti, mostra abbastanza che è nulla per questi corpi l'influenza dell'attrazione molecolare, ciò che è anche meglio dimostrato dal conservarsi uniformi le dilatazioni dei gas, qualunque siano le loro densità.

Non dovremo perciò esitare ad adottare, nello studio delle leggi del calore, il termometro a gas o ad aria, a preferenza di quello a mercurio: questo termometro sarà dunque l'istrumento normale al quale tutte le temperature devono esser riferite. Non credíate però che questa superiorità del termometro a gas valga a darci colle sue indicazioni la misura assoluta delle varie intensità del calore. Converrebbe perciò supporre, ciò che non è certamente dimostrato, che la quantità di calore che si trova in un gas sottoposto ad una pressione costante crescesse proporzionalmente alle variazioni del suo volume prodotte dal calore. Può dirsi bensì che i gradi del termometro ad aria devono variare nel rapporto il più semplice quantunque ancora sconosciuto, rispetto alle quantità di calore naturalmente contenute nei corpi. Onde applicare il termometro ad aria alla misura delle alte temperature si fa il bulbo del termometro di una sostanza infusibile, come sarebbe il platino, al quale si unisce un tubo di vetro. Il più semplice dei termometri ad aria è il tubo di cui ci siamo serviti per determinare le leggi della dilatazione dei gas, e in cui s'introduce l'aria bene asciutta. Basta perciò di avere un tubo di vetro con un recipiente ad una estremità, il quale sia graduato e di cui le divisioni siano in un rapporto determinato colla capacità del recipiente. Per graduarlo si porta a zero la temperatura del termometro, e si rappresenta con 267 il volume che occupa a questa temperatura l'aria contenuta nel termometro. Il volume dell'aria, a partire da zero, diventerà successivamente 268, 269, 270 ec. per l'aumento di 1°, 2°, 3° ec. È, in una parola, un termometro di cui lo zero è segnato a 267. Dulong e Petit per la misura delle alte temperature hanno adoperata un' altra disposizione che vi descriverò, e che si fonda sulla legge di Mariotte, la quale sappiamo verificarsi indipendentemente dalla temperatura dei gas. Il termometro di quei Fisici consiste in un tubo o recipiente cilindrico, a cui è saldato un tubo capillare di vetro che si ripiega in basso, e che è lungo circa 50 centimetri. Il recipiente è posto nel bagno, o, in generale, nello spazio di cui si vuol determinare la temperatura. Allorchè si crede che abbia presa la temperatura, si porta il tubo sottile nel mercurio ben asciutto. Lasciato raffreddare il tubo sino ad un'altra temperatura, si misura la colonna che si è sollevata nel tubo capillare. È chiaro che la forza elastica dell'aria così fredda, è eguale alla pressione dell'atmosfera diminuita dell'altezza della colonna sollevata, mentre quella dell'aria riscaldata era eguale all'altezza del barometro nel momento dell'osservazione. La legge di Mariotte ci dà facilmente il modo di calcolare il volume dell'aria fredda alla pressione dell'atmosfera, e quindi la dilatazione dell'aria.

La dilatazione che il calore produce nell'aria è la cagione dei molti suoi movimenti; vedremo nel trattato della Meteorologia esser questa la cagione dei venti. Tutte le volte che un dato volume d' aria viene riscaldato e reso perciò più leggiero, tende necessariamente a sollevarsi con una forza eguale alla differenza di peso che v'è fra il peso di un volume d'aria fredda ed il suo. Supponete di avere un tubo ricurvo pieno di un liquido della stessa densità dell'aria riscaldata e in cui una delle colonne sia più alta dell'altra, di quanto si allungherebbe nel passar dalla temperatura fredda, p. es., da 0° a 100°. Questa differenza di pressione è la misura della forza con cui tende l'aria riscaldata a 100° a sollevarsi in mezzo all'aria a 0°. Da ciò deduce-

si la velocità ascensionale di questa colonna, che teoreticamente deve essere eguale a quella che acquista un grave cadendo da un'altezza misurata dalla dilatazione che esse soffre da 0° a 100°. Un esempio vi farà meglio intendere questo principio. Sia l'aria esterna a 0°, e s'abbia un tubo lungo 50m in cui l'aria sia costantemente riscaldata a 100°: la dilatazione di questa colonna d'aria sarà espresse dal prodotto 50m×100×0,00375=18,m 75. Cadendo un corpo da 18,m 75 acquista alla fine una velocità con cui si innalza l'aria nel tubo, se non che gli attriti contro le pareti la diminuiscono. Questi principi vi spieghino perchè l'attività di un tubo da fornello e fare ascendere l'aria nel suo interno, cresce colla sua lunghezza e colla differenza di temperatura fra l'aria esterna e la propria. Bastino queste considerazioni a spiegarvi i tanti movimenti che si eccitano nell'aria anche in molte circostenze naturali. Vi sono dei monti nella Repubblica di S. Marino, il monte Testaccio presso Roma ec., dai quali esce, in estate, e da certi fori una corrente d'aria fredda. L'osservazione curiosa del celebre Americano, delle due correnti d'aria che si formano fra una stanza riscaldata e l'aria esterna fredda, si intende ora facilmente. Può ognuno assicurarsi dell'esistenza di queste due correnti aprendo per pochi centimetri la porta della stanze calda, e scorrendo con una fiamma lungo la fissura; si vedrà la fiamme spinta fuori verso l'alto dalla corrente d'aria calda e leggiera che esce, e in basso chiamata nell'interno dall'aria fredda ed esterna che entra. Questi stessi sono i principi che servono di norma alla costruzione dei tanti apparecchi conosciuti sotto il nome di *ventilatori*, i quali si adoperano per rinnovare l'aria degli ospedali, delle sale da spettacolo, ec.

LEZIONE LXXII.

Passaggio dei corpi dallo stato solido al liquido. — Calorico latente. — Congelazione dell'acqua. — Determinazione del calorico latente. — Miscugli frigorifici. — Passaggio dei corpi dallo stato liquido all'aeriforme. — Ebullizione. — Rapporto fra la temperatura dell'ebullizione e la pressione che soffre il liquido che bolle. — Calorico latente dei vapori. — Ghiaccio artificiale nel vuoto.

L'aumento di volume che avviene in un corpo solido per l'azione del calore, non è l'unico effetto che questo agente produce: oltrepessato un certo limite il corpo rambia di stato, passa allo stato liquido, si *fonde*. È questo il fenomeno che continuamente si osserva nel riscaldamento del ghiaccio, della cere, del piombo, dello stagno ec. Se consideriamo, che e misura che noi siamo giunti a possedere mezzi maggiori di riscaldamento, è diminuito il numero di quei corpi giudicati infusibili, *refrattari*, dobbiamo ammettere che v'è per tutti i corpi solidi un grado tale di riscaldamento, al quale si fanno liquidi. Se in mezzo al corpo che si fonde si ha cura d'introdurre un termometro e di agitare il corpo stesso onde renderne uniforme la temperatura, si osserve che qualunque sia l'intensità del fuoco, l'energia della sorgente calorifica, la temperatura rimane costante sinchè v'è una particella del corpo solido che si fonde. Eccovi due recipienti esposti da qualche tempo alla temperatura di 10° o 12°, e che furono empiti uno di acqua a 0°, l'altro di ghiaccio triturato, e in fusione. Da principio il termometro segnave nei due recipienti le stessa temperatura, quella di 0°: ora l'acqua ha una temperatura di poco inferiore a quella della stanza, e fra poco avrà esattamente la stessa temperatura. Nell'altro recipiente in cui v'è ancora del ghiaccio da fondersi, la temperatura è sempre quella dello 0°. Se invece di operare sopra il ghiaccio, si prendesse un altro corpo e si operasse egualmente, se ne otterrebbe lo stesso risultato. La temperatura alla quale un dato corpo si fonde è costante benchè molto diversa pei vari corpi. E poichè la temperatura del corpo in fusione è costente, conviene ammettere che che tutto il calore ceduto dalla sorgente è impiegato a produrre il cangiamento di stato è assorbito, è ciò che si chiama *calorico latente di fusione*.

Si conserva perciò il nome di *calorico sensibile* e quello che fa variare la temperatura di un corpo, e che si misura col termometro, e che agisce sui nostri sensi. Possiamo determinare facilmente qual'è questa quantità di calore che viene assorbita nella fusione di un corpo, o per meglio dire possiamo determinare quale sarebbe l'elevazione di temperatura prodotta dal calorico latente. Eccovi una libbra di ghiaccio a zero, che mescolo con una di acqua a 75° C., dopo poco tutto il ghiaccio è fuso, e trovo che il miscuglio è ridotto a zero. Di certo se avessi mescolato l'acqua calda a 75° C. con un peso eguale di acqua a zero, avrei trovato 37°, 5 per la temperatura del miscuglio, e in tutti i casi la temperatura di due eguali masse di acqua mescolate sarà sem-

pre la media della somma delle loro temperature. Nel nostro esperimento l'acqua a 75° fonde un egual peso di ghiaccio, e la temperatura pel miscuglio si abbassa a zero; da ciò conchiudiamo necessariamente, che una quantità di ghiaccio assorbe nel solo fondersi tanto calorico, quanto ne viene perduto da un'egual massa di acqua nel raffreddarsi da 75.° a 0°; ossia quanto questa stessa massa deve prendere per passare da 0° a 75°. E con questo numero 75 che esprimiamo il calorico latente del ghiaccio. La quantità di calorico latente è necessariamente proporzionale alla massa del ghiaccio o del corpo qualunque che è fuso, e noi potremmo paragonare fra loro le diverse quantità di calorico, misurando le quantità del ghiaccio che esse fondono.

L'affinità fa variare il punto di fusione dei corpi, senza che perciò manchi l'assorbimento del calorico. In questi casi la temperatura deve di necessità abbassarsi al disotto del punto al quale la fusione avviene per il riscaldamento. Eccovi del ghiaccio pesto che mescolo colla metà del suo peso di sal marino: il ghiaccio si fonde per l'affinità dell'acqua col sale; e poichè non v'è una sorgente che comunichi il calore necessario al cambiamento di stato, la temperatura si abbassa, e scende in tal caso a 18° sotto zero. Questo è il principio della formazione dei miscugli frigorifici. Il limite dell'abbassamento di temperatura che può prodursi con un tal mezzo è determinato dalla temperatura alla quale cessa l'affinità dell'acqua per il sale; ciò avviene appunto, nel nostro caso, alla temperatura di 18° o 20° sotto zero. Se questo non fosse, basterebbe di raffreddare il ghiaccio mettendolo a contatto di un primo miscuglio frigorifico, poi di mescolare il sale a questo ghiaccio così raffreddato. Il secondo miscuglio avrebbe già una temperatura più bassa del primo e non vi sarebbe mai limite di raffreddamento.

I corpi detti fondenti adoperati in tante arti, nella estrazion dei metalli, nella fabbricazione del vetro ec., non son altro che corpi che hanno la proprietà di accelerare la fusione delle materie, con cui sono mescolati, e questo lo fanno col combinarvisi, col produrre delle combinazioni che sono più fusibili delle sostanze a cui il fondente è aggiunto.

Nel ritorno dei corpi dallo stato liquido al solido si verificano due condizioni che corrispondono a quelle della fusione. Il corpo si fa solido ed una temperatura fissa, che è quella stessa alla quale si fonde, e intanto tutto il calorico latente che è stato assorbito nella fusione è reso libero nella solidificazione. Eccovi due recipienti eguali che espongo ad una temperatura molto bassa immergendoli in un miscuglio frigorifico, e in uno dei quali ho versato acqua pura, e alcool nell'altro. I termometri immersi nei due recipienti s'abbassano, e giunti a zero, quello dell'acqua rimane stazionario finchè tutta è congelata, mentre nell'altro in cui l'alcool rimane liquido la temperatura s'abbassa progressivamente. Gettate corpi fusi in una massa d'acqua di cui si conosca il peso e la temperatura: questi si faranno solidi, e l'aumento di temperatura che sarà prodotto nell'acqua dipenderà dal calorico latente, reso libero nella solidificazione del corpo senza abbassamento di temperatura, e più dal calore abbandonato dal corpo solido, per scendere dalla temperatura a cui si fonde a quella che ha preso il miscuglio. Per determinare questa seconda quantità di calorico basterà di mescolare all'acqua una data quantità del corpo di cui si cerca il calorico latente, prendendolo solido a quella temperatura a cui comincia a fondersi, a stabilire l'aumento di temperatura che vi produce: si sottrae questo aumento dalla temperatura prodotta dallo stesso corpo aggiunto all'acqua allo stato di fusione. La differenza ottenuta non rappresenta più che il calorico che è reso libero nella solidificazione, il quale è di certo eguale a quello assorbito nel cangiamento di stato.

Vi sono per l'acqua che si solidifica alcuni curiosi fenomeni, che c'importa di conoscere. Se questo liquido è preso allo stato di purezza, ed è privo affatto d'aria, ciò che si ottiene o col farlo bollire o tenendolo nel vuoto della macchina pneumatica, ed è esposto al raffreddamento prodotto da un miscuglio frigorifico, vedesi il termometro che vi è immerso scendere a molti gradi sotto zero senza che la congelazione abbia luogo. Questo fenomeno avviene anche meglio se il liquido è posto in tubi di vetro chiusi dopo averne estratta l'aria, o se si raffredda sotto il vuoto della macchina pneumatica. Mentre l'acqua è così raffreddata al disotto della temperatura alla quale si fa solida, basta un piccolo movimento prodotto da un corpo solido gettato nel liquido, una leggiera agitazione, perchè nell'istante tutta la massa si faccia solida e il termometro s'innalzi sino alla temperatura a cui avviene la fusione o la solidificazione dell'acqua. In questo caso la solidificazione è rapida ed avviene in tutta la massa liquida, perchè il calorico latente fatto libero dalle prime porti dell'acqua che si congelano, non basta ad innalzare la temperatura delle altre ancor liquide al di sopra di zero, a cagione della temperatura assai inferiore a cui erano sce-

se benchè liquide; ecco perchè la congelazione è pronta e totale, e perchè il termometro s'innalza. Non avviene però così allorchè l'acqua si congela esposta alla temperatura dello zero: in questo caso il ghiaccio si forma lentamente e senza elevazione di temperatura l'acqua comincia a gelare in molti punti della sua massa nello stesso tempo, e intanto il calorico latente che le porzioni gelate rendono libero, riscelda le molecole vicine ancora liquide, le quali perciò non si congelano se non dopo aver perduto questo calore; senza il calorico latente la solidificazione dei corpi sarebbe istantanea.

L'acqua nel congelarsi presenta ancora un altro fenomeno, che non voglio lasciarvi ignorare. Già abbiamo visto che la densità dell'acqua diminuisce nell'abbassarsi da 4° a zero; questa diminuzione di densità persiste ancora quando si fa solida, ed è perciò che l'acqua che si congela in un recipiente chiuso sviluppa una forte pressione contro le pareti di questo vaso. La forza che l'acqua sviluppa in questo caso è evidentemente eguale alla grandissima pressione che bisognerebbe esercitare sopra il ghiaccio per diminuire il suo volume, per ridurlo a quello dell'acqua a zero. Gli accademici del Cimento videro rompersi i recipienti chiusi in cui misero l'acqua a congelare. Il Maggiore William empì d'acqua una bomba di un piede di diametro, e la chiuse esattamente con un turacciolo di legno introdotto a colpi di martello. Allorchè questa bomba fu esposta ad una temperatura inferiore allo zero, si vide il turacciolo lanciato con una fortissima esplosione a oltre 400 piedi, e sortì dalla bomba un pezzo di ghiaccio lungo 8 pollici.

È a questo aumento di volume dell'acqua che si congela, che si deve l'azione dei grandi freddi sopra le piante: l'acqua contenuta nei loro tessuti, nelle cellule e nei tubi capillari che li compongono, aumenta di volume nel congelarsi e rompe in tal guisa i delicati inviluppi in cui è contenuta. Devesi ancora a questa stessa cagione il ridursi in polvere di alcune pietre nell'inverno; l'acqua che n'empie i pori si congela, e dilata questi spazi in modo, da produrre la disgregazione del corpo. Berard ha indicato recentemente un processo per distinguere quelle pietre che si riducono in polvere allorchè si gela l'acqua. Vengono perciò immerse in una soluzione satura di solfato di soda, la quale cristallizzandosi produce lo stesso effetto della congelazione dell'acqua. Anche la ghisa e il bismuto aumentano di volume nel solidificarsi, ed è perciò che sono perfette le forme di ghisa fuse negli stampi.

Risovvenitevi ancora di quel fuoco che si forma naturalmente, e che solleva la crosta solida del bismuto fuso e lasciato solidificare.

Avvengono ad ogni momento, e in noi stessi e nei corpi che ci circondano, fenomeni che si spiegano coi principî del calorico latente dei corpi fusi. Allorchè la neve comincia a cadere, la temperatura si alza di un qualche grado, ed il freddo è meno intenso. Questo fenomeno non è già la cagione per cui si forma la neve, come suol credersi generalmente, quando si dice che non nevica per il troppo freddo: il rialzamento della temperatura è invece dovuto alla formazione della neve e al calorico fatto libero nella solidificazione.

Parliamo ora dell'altro cangiamento di stato. Se ognuno di voi che l'acqua, lo spirito di vino, l'etere solforico, alcuni corpi solidi, come la canfora, l'iodio si convertono in vapori anche senza essere riscaldati al di là delle temperature ordinarie dell'atmosfera. Se il riscaldamento è maggiore, avviene in tutti quel fenomeno, che è chiamato *ebullizione*; tutto il liquido in questo caso si converte in vapore, e le prime bolle di vapore si formano nei punti i più profondi della massa. Ricordatevi di ciò che si è detto parlando della costruzione del barometro: se un poco di acqua rimanesse nel tubo, dove dev'essere il vuoto, presto quest'acqua si convertirebbe in vapore, e la colonna del mercurio verrebbe abbassata per la forza elastica del vapor acqueo, nello stesso modo che lo sarebbe da una quantità d'aria o di altro gas che vi si fosse lasciata. Eccovi un tubo pieno di mercurio, e con cui posso costruire un barometro: prima di rovesciarlo e di portarlo a pescare nel pozzetto, aggiungo nell'alto della colonna alcune gocce di etere solforico: allora lo rovescio, e fo il barometro. Vedete quello che accade in questo caso: si dilegua subito la colonna dell'etere appena è portata in alto e si trova a contatto del vuoto; e intanto se confronto la colonna del mercurio che è sollevata in questo tubo con quella di un barometro ordinario, trovo una differenza considerevole: il barometro in cui ho messo l'etere si tiene assai più basso dell'altro. Voi sapete bene cosa significa questa differenza: il vapor dell'etere colla sua forza elastica fa equilibrio ad una parte della pressione atmosferica; e se si volesse sapere qual porzione di colonna barometrica misura la forza elastica dell'etere, basterebbe di sottrarre dalla colonna del barometro ordinario, quella del barometro in cui si è formato il vapor dell'etere. Coll'acqua, coll'alcool, questo fenomeno sarebbe accaduto, e non avrei tro-

tato che della differenze nella diversità d'altezza delle due colonne barometriche secondo il liquido introdotto.

Si è cercato di stabilire se v'era una temperatura tanto bassa alla quale cessava di formarsi il vapore per certi liquidi. Eccovi una boccia di vetro in cui vedete sospesa una foglia d'oro, e nel cui interno è introdotto un po' di mercurio. Per poco che scaldi la boccia, senza anche che il mercurio bolla, la foglia d'oro si vede divenir bianca, il che accade per il vapore del mercurio che si condensa a contatto della foglia d'oro e forma l'amalgama, che è bianca. Faraday ha tenuto per molti mesi un apparecchio simile esposto alla temperatura di 7° sotto lo zero, e non ha visto accadere cambiamento nella foglia d'oro. Bellani ha trovato che l'acido solforico non emette vapori alla temperatura ordinaria. Può dunque dirsi che deve esservi per tutti i liquidi una temperatura tanto bassa alla quale cessano di convertirsi in vapore.

Nel modo stesso con cui i liquidi perdendo calore tornano solidi, anche i vapori si fanno liquidi se la loro temperatura è abbassata. È questo un fatto troppo conosciuto da tutti: chi non sa che un corpo freddo si cuopra di gocce d'acqua esposto al vapore dell'acqua bollente? Voi sapete che sopra questa proprietà si fonda la distinzione dei corpi gassosi, in gas permanenti e in gas non permanenti, che sono i vapori. Voglio però dirvi che questa distinzione cade ogni giorno: a misura che noi possediamo dei mezzi di produrre grandi abbassamenti di temperatura, giungiamo a liquefare quei gas che sin qui si credevano permanenti. Il cloro, l'ammoniaca, l'acido solforoso, l'acido carbonico, si ottengono oggi allo stato liquido. Dobbiamo perciò ammettere che per tutti i corpi gassosi deve esservi una temperatura tanto bassa alla quale si fanno liquidi.

Onde esporvi con un certo ordine i fenomeni che accompagnano la trasformazione dei liquidi in vapori, a darvi con una sufficiente chiarezza la teoria della loro formazione, comincerò dal parlarvi delle condizioni per le quali succede l'ebollizione di un liquido.

Finchè un liquido qualunque, l'acqua p. es. è riscaldato con una sorgente calorifica e che si vede dal termometro che vi è immerso elevarsi la sua temperatura, diciamo che il liquido si riscalda ed in parte si converte in vapori, s'*evapora*: nel momento in cui il liquido comincia a bollire, in cui per un movimento generale a tutta la massa si vedono escir bolle di vapore da tutti i punti, il termometro cessa di elevarsi, e può accrescersi il calore finchè si vuole, senza vedere alzarsi la colonna del termometro immerso nel liquido che bolle. In tutti i liquidi questo fenomeno si verifica. La loro ebullizione avviene bensì a temperature diverse; l'alcool bolle ad una temperatura più bassa di quella dell'acqua, l'etere ad una anche più bassa di quella dell'alcool; ma per tutti si verifica, che giunti all'ebullizione, la temperatura loro è stazionaria. Accade dunque per i liquidi che bollono quello che avete visto accadere pei solidi giunti al punto della fusione: tutto il calore che si continua a comunicare dalla sorgente al liquido che bolle, è calore impiegato a formare il vapore, è calore reso *latente*. Il vapore che si forma ha la stessa temperatura del liquido che bolle, come il corpo che si fa liquido ha la stessa temperatura del corpo ancora solido che si viene fondendo. V'è dunque assorbimento di calore, e dovrà esservi di necessità emissione di calore, allorchè il vapore formato ritorna di nuovo allo stato liquido.

Impareremo più innanzi a determinare questo calorico latente dei vapori: sin d'ora vi dirò che dato un peso di vapor d'acqua, che è preso dall'acqua che bolle nelle condizioni ordinarie e che ha perciò la temperatura di 100°, è capace nel farsi liquido e senza abbassarsi di temperatura, di riscaldare a 531° una quantità di acqua.

Devo parlarvi ancora di una circostanza estremamente importante, da cui dipende la temperatura fissa alla quale un liquido bolle. Sollevatevi nell'alto dell'atmosfera, salite sopra un monte piuttosto alto; e se in questa stazione cercherete di determinare con esattezza la temperatura alla quale l'acqua bolle, v'accorgerete che questa temperatura è più bassa di 100°, e lo è tanto più, quanto più in alto sarete saliti. Sulla cima del Monte Bianco, a 4775m sopra il livello del mare, l'acqua bolle a 84°. È dunque la pressione dell'aria che fa variare il punto della temperatura a cui l'acqua bolle: questa temperatura sarà tanto meno elevata, quanto è minore la pressione a cui è soggetto il liquido che si fa bollire. Eccovi dell'acqua a 50° e che di certo non bolle nè può bollire, come lo vedremo: la porto sotto il recipiente della macchina pneumatica, e dopo alcuni colpi di stantuffo la vedrete tutta intera bollire, convertirsi in vapore. Può esser bassa quanto si vuole la temperatura dell'acqua, giungerem sempre a farla bollire, se diminuiremo convenientemente la pressione dell'atmosfera. Eccovi dell'acqua che è a zero, o a pochi gradi sopra zero, e vedrete che non tarda molto a bollire, estraendo quasi interamente l'aria

dal recipiente in cui la colloco. E poichè in tutti questi casi d'ebullizione la temperatura è costante, e v'è perciò assorbimento di calore; poichè, a qualunque temperatura il liquido bolla, dovrà sempre esservi calorico reso latente, dovrà di necessità abbassarsi la temperatura dell'acqua che bolle nel vuoto. Il calore sarà in questo caso, come pei miscugli frigorifici, fornito dal liquido che boile, dal recipiente in cui è contenuto. Notate infatti quello che accade nell'acqua che così fredda ho introdotta e fatta bollire nel vuoto. Poco dopo s'è tutta congelata. Quest'esperienza curiosa della congelazione artificiale, dovuta a Leslie, è una prova manifesta dal calorico latente, qualunque sia la temperatura alla quale il liquido si converte in vapore. È necessario, perchè l'esperienza riesca, d'introdurre nel recipiente della macchina pneumatica un corpo che assorba il vapore, senza di che quello sviluppato dall'ebullizione agirebbe colla sua forza elastica, come l'aria o un gas qualunque: non si opererebbe più nel vuoto o nell'aria rarefatta. A questo fine s'usa specialmente l'acido solforico puro, che è versato in un piatto (*Fig.* 37) sotto il recipiente in cui trovasi l'acqua che si congela. Eccovi (*Fig.* 51) ancora un apparecchio immaginato da Wollaston, e col quale si ottiene lo stesso risultato. È un tubo a cui sono soffiate due palle all'estremità, e che è stato in parte empito d'acqua facendogliela bollire prima di chiuderlo, e così vuotandolo di aria. L'acqua vi bolle col semplice calor della mano. Basterà di raffreddare con un miscuglio frigorifico una delle palle, perchè il vapore vi si condensi e così possa bollire il liquido. Per questa evaporazione v'è assorbimento di calore e congelazione dell'acqua, come nell'esperienze di Leslie.

Nello stesso modo in cui avviene che l'acqua bolle ad una temperatura tanto più bassa, quanto più è minore la pressione cui è soggetta, si verifica che questa temperatura s'innalza al crescere della pressione. S'introduca nel braccio chiuso del tubo *a b* (*Fig.* 28) un poco d'etere, e si riscaldi con acqua introdotta nel largo manico che lo circonda. Basterà di versare nuovo mercurio nel braccio aperto, perchè si vegga che il liquido non bolle più senza alzare la temperatura oltre al punto a cui prima bolliva quando la pressione era minore.

I liquidi tutti bollono dunque ad una temperatura fissa, finchè questo avviene sotto la pressione costante: ai convertono in vapore e assorbono perciò del calore: il vapore che emettono è dotato di una forza elastica, come lo sono tutti i corpi gassosi.

LEZIONE LXXIII.

Formazione dei vapori in uno spazio vuoto. - Forza elastica dei vapori. - Differenza fra i vapori ed i gas. - Massima tensione dei vapori. - Forze elastiche dei vapori alle diverse temperature. - Legge di Dalton. - Densità dei vapori. - Condensazione dei vapori, e liquefazione dei gas. - Calorico latente dei vapori.

Non v'è alcuno di voi il quale non sappia che allorquando un liquido è esposto al contatto dell'aria non tarda lungo tempo a dileguarsi: e ciò appunto avviene dell'acqua che bagna la superficie della terra. Questo fenomeno accade più rapidamente se la temperatura del liquido è accresciuta; noi già abbiamo studiato il fenomeno dell'ebullizione, e determinate le condizioni per le quali succede. Si è visto come questo fenomeno accadeva ad una temperatura tanto più bassa quanto più era rarefatta l'aria del recipiente, in cui veniva posto il liquido a bollire. Basterebbe questa sola esperienza a persuaderci di tutta la falsità dell'opinione che ha regnato lungamente nella Scienza, che, cioè, un liquido non potesse convertirsi in vapore senza la presenza dell'aria, e che anzi a questo gas si dovesse un'azione dissolvente dei liquidi, in virtù della quale i vapori si formavano, e sussistevano. Il calorico assorbito in tutti i casi in cui accade la trasformazione di un liquido in vapore, il raffreddamento che abbiamo visto accadere nell'acqua che bolliva nel vuoto dalla macchina pneumatica, ci provano abbastanza che è il calorico la sola cagione per cui i vapori si formano, e che non v'è liquido che ad una certa temperatura non si cangi in vapore. Vi ricorderò ancora che da alcune esperienze di Faraday e di Bellani sembra doversi ammettere che vi sia per ogni liquido una temperatura tanto bassa alla quale cessa di emettere vapore. Importa assai che studiamo con tutta l'estensione le proprietà dei vapori, le circostanze della loro formazione; senza di ciò non giungeremo mai a renderci ragione di un grandissimo numero di fenomeni meteorologici, nè a spiegarci il portentoso artificio con cui agisce la macchina più utile che abbia saputo immaginare il genio dell'uomo.

Onde esporvi col maggior ordine e chiarezza possibile la teoria dei vapori, comincerò dal considerare la formazione del vapore in uno spazio vuoto; poi considereremo come questo succeda in mezzo all'aria. Il vuoto barometrico è eminentemente proprio a questo genere di ricerche, e ciò non solo perchè è il più perfetto possibile, ma bensì ancora per la mobilità della colonna barometrica, la quale ci offre un mezzo esattissimo onde misurare la forza elastica del vapore che vi si forma. La teoria dei vapori, che v'esporrò, può dirsi dovuta interamente al celebre Autore della dottrina atomistica.

Eccovi (*Fig.* 27) quattro barometri che pescano tutti in largo pozzetto *a b*, e retti sopra una stessa base B. Due traverse metalliche *m n*, *m' n'* riuniscono questo fascio di barometri ad una colonna A B. È unito alla colonna un regolo *p g* diviso in centimetri, su cui scorre un cannocchiale a micrometro che si muove sopra il regolo, e che è munito di un nonio onde aver le frazioni del millimetro. L'altezza della colonna barometrica è in tutti la stessa, e misura esattamente la pressione dell'atmosfera. Con un piccolo tubo di vetro ripiegato, introduco in uno dei barometri una piccola quantità d'acqua, in un altro un poco d'alcool, nel terzo una piccola quantità di etere; il quarto barometro rimane intatto. I tre liquidi per la loro leggerezza salgono rapidamente nel vuoto barometrico, ed all'istante la colonna del mercurio s'abbassa. Per il barometro in cui ho introdotto l'etere, questo abbassamento è circa la metà della colonna del barometro intatto; per quello ad alcool la colonna si abbassa di circa 15 millimetri; per quello ad acqua l'abbassamento è pure di parecchi millimetri. È inutile ch'io vi dica che questi abbassamenti delle tre colonne barometriche non dipendono dal peso delle colonne liquide che vi ho introdotte; sapete tutti quanto dovrebb'essere alta una colonna di quei liquidi per fare equilibrio ad una colonna di mercurio di un sol millimetro d'altezza. È forza dunque di ammettere, che quei liquidi portati nel vuoto si sono all'istante convertiti in vapore, e che il loro vapore ha una forza espansiva, elastica, come quella che abbiamo trovata nei gas. Se avessi introdotta una piccola quantità d'aria o di gas qualunque in quei barometri, avrei ottenuto la depressione della colonna barometrica, come si è ottenuta introducendovi dei liquidi. Immaginatevi una serie di barometri, ripetete l'esperienza che abbiamo fatta introducendo altri liquidi, e vi accadrà con tutti di veder deprimere all'istante la colonna barometrica di una quantità più o meno grande, secondo i diversi liquidi. La forza elastica dei loro vapori sarà immediatamente dedotta dalla differenza di altezza fra la colonna di un barometro ordinario e quella di un barometro in cui il vapore si è formato.

Sin qui l'analogia fra i vapori ed i gas è compiuta: una piccola quantità d'acqua posta in uno spazio vuoto, grande quanto si vuole, si converte immediatamente in vapore, vi si estende occupandolo interamente, nello stesso modo che abbiamo visto farsi da una piccolissima particella d'aria. Il *barometro a lungo pozzetto* immaginato da Mariotte (*Fig.* 67) basterà a mostrarci tutte le proprietà dei vapori. Consiste in un tubo barometrico *t* molto lungo, che si riempie di mercurio nello stesso modo con cui si costruisce un barometro. Il pozzetto *c c n* è molto profondo, e serve ad immergere più o meno il tubo barometrico. S'introduca una piccola quantità d'etere nel barometro; sale questo liquido sull'alto della colonna del mercurio, ed all'istante si converte interamente in vapore. Se confronto la colonna del mercurio che vi rimane sollevata a quella di un barometro ordinario, posso dedurne immediatamente la forza elastica del vapor d'etere che preme sulla colonna del barometro a lungo pozzetto. Sollevo il barometro, ed accresco in questa guisa lo spazio che occupa il vapore; la sua densità diminuisce per conseguenza, e nello stesso tempo la sua forza elastica. Di fatti la colonna del mercurio è meno depressa di prima. Seguitando a sollevare il barometro, e ad accrescere così i volumi occupati dal vapore, veggo variare corrispondentemente le sue forze elastiche. Misurando in queste esperienze i diversi spazi occupati dal vapore e le forze elastiche corrispondenti, troveremo che pei vapori si verifica la legge di Mariotte, che abbiamo stabilita pei gas; le forze elastiche variano in ragione inversa dei volumi, o sono proporzionali alle loro densità e alle pressioni che soffrono. Continuano dunque i vapori a procedere come i corpi gassosi. Abbasso di nuovo il tubo barometrico nel pozzetto, e proseguo ad immergerlo gradatamente. Lo spazio occupato dal vapore diminuisce di necessità, e veggo la colonna del mercurio deprimersi corrispondentemente. Anche in questo modo il vapore si comporta come un gas; la sua forza elastica cresce in ragione inversa del suo volume. Ma per poco ch'io continui ad immergere il barometro, non tardo a veder comparire sull'alto della colonna di mercurio uno strato liquido *s*. In questo punto si osservano due fenomeni moltoimportanti; la colonna *s n* di mercurio conserva esattamen-

ta la stessa lunghezza, per quanto io immerga il barometro e così diminuisca lo spazio occupato dal vapore. Questo primo fatto ci prova che nell'istante in cui comparisca lo strato liquido, la forza elastica del vapore cessa di crescere, rimane costante. Nello stesso tempo, a misura che il tubo scende, lo strato di etere aumenta visibilmente d' altezza, ciò che ben prova che il vapore si liquefà, piuttosto che lasciarsi comprimere e ridurre ad uno spazio minore. Posso introdurre il tubo interamente nel pozzetto senza che s'alteri l'altezza *s n* della colonna barometrica. Non ho più, in questo caso, che uno strato di tutto etere al di sopra della colonna di mercurio. V' è dunque, per il vapor dell'etere, un *massimo di forza elastica*, un *massimo di tensione*. Allorchè uno spazio pieno di vapor d'etere è così *saturo*, non può questo spazio diminuirsi senza che una porzione del vapore si faccia liquida, e intanto la sua forza elastica rimanga costante. Senza ridurre colla diminuzione dello spazio quel vapore massimo di tensione, posso giungere allo stesso risultato introducendo nel barometro una quantità maggiore di liquido, talchè vi rimanga sulla colonna del mercurio uno strato liquido. Quando questo avviene, lo spazio è sempre saturo, il vapore che lo riempie è al massimo di tensione. E di fatto se abbasso in questo caso il barometro, la colonna liquida cresce senza che vari l'altezza del mercurio, e quindi la forza elastica del vapore. Mentre uno strato liquido occupa l' alto della colonna barometrica, ed il vapore è per conseguenza al massimo di tensione, se sollevo il barometro ed accresco in questa guisa lo spazio occupato dal vapore, la colonna liquida diminuisce, nuovo vapore si forma, ma la colonna del mercurio rimane alla stessa altezza, e quindi è costante ancora la forza elastica del vapore. Sin che v' è liquido sull' alto della colonna barometrica, lo spazio è saturo di vapore, la tensione è massima. Non è così che sarebbe accaduto di un corpo gassoso; un gas, in questo caso, si dilata e diminuisce di elasticità. Non è che quando lo strato liquido è interamente scomparso, che se si continua a sollevare il barometro, il vapore procede come un gas, si espande cioè diminuendo corrispondentemente di elasticità. Qualunque altro liquido avessi introdotto nel tubo del barometro, avrei ottenuto gli stessi risultati che vi ho mostrati coll' etere; se non che le forze elastiche o tensioni massime sarebbero state assai diverse fra liquido e liquido, e l' esperienza fatta or ora coi quattro barometri ve lo ha ben provato.

Proviamo ora a variare la temperatura di uno spazio pieno di vapore. Suppongo di cominciare dal riscaldare uno spazio in cui il vapore non sia esattamente al massimo di tensione. In questo caso il vapore si dilata nello stesso modo con cui abbiamo visto dilatarsi i gas. V'è per tutti i vapori uno stesso coefficiente di dilatazione che è identico a quello trovato per i gas. Un dato volume di vapore che non è al massimo di tensione, portato da 0° a 100° aumenta nel rapporto di 1 a 1,375 se il vapore può dilatarsi, non aumentando di forza elastica; se il suo volume non varia, la sua forza elastica crescerà nello stesso rapporto. Questa nuova analogia fra i vapori ed i gas allorchè sono riscaldati, non sussiste più, se i primi sono presi al massimo di tensione, e se sussistono formati a contatto del liquido che li produce. È questa tensione massima dei vapori alle varie temperature che vogliamo ora imparare a conoscere. L' apparecchio (*Fig.* 17) è quello che ci servirà per determinare la massima tensione dei vapori da 0° a 100°. Consiste questo in due barometri *a* e *b* a mercurio, che si costruiscono colle precauzioni ben note: sono questi due barometri contenuti in un largo tubo di vetro e che pesca nel mercurio del pozzetto *o*. S' empie il tubo di vetro d'acqua, la quale vi rimane sostenuta dal mercurio contenuto nel pozzetto. Basterà di riflettere alla grande differenza di densità che passa fra questi due liquidi, acqua e mercurio, per intendere come una colonna di mercurio alta pochi centimetri possa fare equilibrio ad una di acqua alta circa un metro. Un termometro *t* a bulbo cilindrico pesca nell'acqua del largo tubo, e ne indica la sua temperatura. Può questa farsi variare scaldando con una fiamma a spirito il pozzetto *o*, che a bella posta è fatto di rame o di ferro. In uno dei due barometri s' introduce una certa quantità d'acqua, la quale all'istante è *in parte* convertita in vapore. S' incomincia l' esperienza col versare acqua a zero nel largo tubo, e si continua riscaldandola successivamente. Ad ogni temperatura si nota la differenza fra l' altezza dei due barometri, e questa differenza ci esprime la forza elastica massima del vapore acqueo alle temperature comprese da zero a cento gradi. Una circostanza sola è essenziale al risultato di queste esperienze; è cioè, che a tutte le temperature vi sia sempre una colonna liquida a contatto del vapore. Vi darò più innanzi, in un quadro, i numeri che rappresentano le forze elastiche massime del vapore acqueo alle diverse temperature. M' interessa di mostrarvi in questo momento un risultato molto importante; mentre vedete bollire

l'acqua contenuta nel tubo c, il mercurio del barometro in cui è il vapore acqueo è interamente depresso sino al livello del pozzetto, il che devo accadere perchè la tensione massima del vapore acqueo alla temperatura dell'ebullizione è eguale alla pressione dell'atmosfera. Se invece d'introdurre acqua in quel barometro avessi messo alcool, etere ec., avrei sempre visto, portata l'acqua del tubo c alla temperatura a cui bollono l'alcool, l'etere ec., il mercurio del barometro in cui sono i vapori di questi liquidi deprimersi interamente sino al livello del pozzetto. Non dimentichiamo questo risultato, su cui in breve avremo occasione di ritornare: la tensione massima dei vari vapori è eguale costantemente alla pressione dell'atmosfera, alla temperatura alla quale sappiamo bollire all'aria libera i liquidi de cui sono formati.

È chiaro dopo ciò, che per determinare le forze elastiche del vapore dell'acqua o di quello di altri liquidi al disopra della temperatura della loro ebullizione, non può servirci l'apparecchio che abbiamo or ora adoperato. Si ricorre in questo caso al tubo ricurvo (*Fig.* 28) *a b*, in cui il braccio più corto è chiuso in *b* ed è contenuto in un largo tubo *c* di vetro che vi è strettamente unito. In questo tubo *a b* s'introduce quel liquido che si vuol convertire in vapore, e si tiene convenientemente inclinato perchè vada a raccogliersi nella sommità *b* del tubo. Si versa olio nel tubo *c*, e per mezzo di una lampada o di un fornello si giunga a riscaldare questo bagno a olio oltre a 100°. Da prima s'introduce un poco di mercurio nel tubo, e a mano a mano che la temperatura del bagno s'innalza, si vede che è necessario di versare nuovo mercurio nel tubo perchè non esca il vapore formato. La colonna del mercurio che rimane sollevata al disopra del livello comune del mercurio nelle due branche, a cui deve aggiungersi la colonna di un barometro ordinario osservato nello stesso tempo, misura la tensione massima del vapore formato ad una data temperatura, indicate da un termometro immerso nel bagno a olio. Dulong e Arago, ai quali devesi un esteso lavoro sopra questo soggetto, hanno adoprato un apparecchio che non differisce, nel suo principio, da quello che abbiamo descritto. Questi due Fisici hanno spinte le loro ricerche sino a determinare la forza elastica massima del vapor acqueo alla temperatura di 224°,2 del termometro centigrado a mercurio, nel qual caso la colonna di mercurio, a cui il vapore fa equilibrio, è alta 18, *metri* 24. È dunque un tubo di questa altezza che Dulong e Arago empivano di mercurio, e che mettevano in comunicazione col vapore formato in una caldaia esattamente chiusa. Aggiunsero quei sommi Fisici un altro strumento per misurare la forza elastica del vapore; era questo un manometro ad aria. Un dato volume di aria contenuto in un tubo diviso in parti di eguale capacità e separato dal vapore da una colonna di mercurio, veniva a mano a mano ridotto ad un volume minore dalla forza elastica del vapore stesso, ed indicava così, partendosi dalla legge di Mariotte, le forze elastiche del vapore comprimente. In questa guisa, poichè v'era nello stesso tempo un mezzo diretto per misurare le forze elastiche del vapore, si giungeva a verificare la legge di Mariotte per l'aria sino al limite della pressione suddetta, di una colonna di mercurio alta 18, *metri* 24. Devo ancora mostrarvi come possono aversi le tensioni massime dei vapori alle temperature inferiori allo zero. L'apparecchio con cui Gay-Lussac he ottenuto queste forze elastiche si fonda sopra un principio molto importante, e che non devo lasciarvi ignorare. Immaginatevi uno spazio di una forma e di un'ampiezza qualunque, nel quale vi sia un liquido che emetta vapore, e supponete che questo spazio abbia nei suoi vari punti una diversa temperatura. Per le condizioni generali dell'equilibrio dei corpi gassosi è certo che la forza elastica dev'essere in tutti i punti la stessa; e poichè la tensione massima del vapore è maggiore nei punti più caldi, è forza che in questi cessi di esser massima, e che diminuisca sino a farsi eguale alla tensione massima dei punti i più freddi. L'equilibrio è dunque stabilito in uno spazio di vaporo disugualmente caldo, allorchè la tensione di questo vapore è in tutti i punti la stessa, o per tutti eguale alla tensione massima corrispondente alla temperatura la più bassa dello spazio. Posso rendervi evidente questo principio con una esperienza assai semplice. Eccovi un tubo di vetro pieno di vapor d'etere al grado di tensione massima, che a guisa di un barometro pesca in un pozzetto di mercurio; per poco che raffreddi il tubo veggo il mercurio sollevarvisi, e ne deduco da ciò che la forza elastica massima del vapore dell'etere diminuisce coll'abbassarsi della temperatura. L'apparecchio di Gay-Lussac per le forze elastiche al di sotto dello zero consiste (*Fig.* 18) in due barometri B e C A; quest'ultimo è ripiegato in alto, e s'introduce in un matraccio nel quale si trova un miscuglio frigorifico, di cui la temperatura è data da un termometro che vi è immerso. Nel barometro C A è introdotta l'acqua, e si confronta al solito l'altezza della colonna del mercurio a quella dell'altro barometro B. Eccovi una tavola che dà le

forze elastiche del vapor acqueo da 100° a 244°,2; queste forze sono espresse in atmosfere, ognuna delle quali si sa equivalere al peso di una colonna di mercurio alta 76 centimetri.

FORZE *elastiche espresse in atm. di 76 centim. di mercurio*	TEMPERATURE *corrispondenti date dal termometro centigrado a mercurio*	PRESSIONE *sopra un centimetro quadrato in chilogrammi*	FORZE *elastiche espresse in atm. di 76 centim. di mercurio*	TEMPERATURE *corrispondenti date dal termometro centigrado a mercurio*	PRESSIONE *sopra un centimetro quadrato in chilogrammi*
1	100	1,033	10	181,6	10,33
1 1/2	112,2	1,349	11	186,03	11,363
2	121,4	2,066	12	190,0	12,396
2 1/2	128,8	2,582	13	193,7	13,429
3	135,1	3,099	14	197,19	14,462
3 1/2	140,6	3,615	15	200,48	15,493
4	145,4	4.132	16	203,60	16,528
4 1/2	149,06	4,648	17	204,57	17,561
5	153,08	5,165	18	209,4	18,594
5 1/2	156,8	5,681	19	212,1	19,627
6	160,2	6,198	20	214,7	20,660
6 1/2	163,48	6,714	21	217,2	21,693
7	166,5	7,231	22	219,6	22,726
7 1/2	169,37	7.747	23	221,9	23,759
8	172,1	8,264	24	224,2	24,792
9	177,1	9,297			

Risulta evidentemente da questa tavola, che le tensioni del vapor acqueo crescono in una proporzione molto più rapida delle temperature. Il rapporto fra 0° e 100° è di 5 a 760. Questo risultato generale sembra potersi applicare alle forze elastiche dei vapori di tutti i liquidi. Dalton aveva creduto di dovere ammettere un rapporto assai semplice fra le temperature e le tensioni corrispondenti dei diversi liquidi. Questo rapporto, generalmente conosciuto sotto il nome di *legge di Dalton*, è il seguente: le forze elastiche dei vapori di diversi liquidi sono per tutti le stesse, considerati a temperature distanti per un egual numero di gradi dal grado dell'ebullizione, prese o sotto o sopra di questo punto. Così l'alcool che bolle a 78° avrebbe a 113° la stessa tensione che ha il vapore d'acqua a 135°, che ha l'etere, che bolle a 37°, 8 a 63°, 8. La temperatura di questi tre vapori è presa per tutti a 35° sopra il punto della loro ebullizione. Debbo dirvi però, che una tal legge deve considerarsi come una legge d'approssimazione, e che per l'esperienze di molti Fisici dobbiamo ammettere che cessa di verificarsi, allorchè si considerano temperature molto lontane dal punto della ebullizione dei liquidi.

Noi dobbiamo ancora ricercare la densità dei vapori alle diverse temperature, cioè quel numero che esprime il rapporto fra il peso di un certo volume di un vapore ad una data temperatura e pressione, e il peso di un egual volume d'aria a zero gradi, e sotto la pressione di 0,*metri*76 o il peso di un egual volume d'acqua; sarà questo numero la densità del vapore preso a quella temperatura e sotto quella pressione. Un tal rapporto è necessariamente un numero costante per ogni vapore, benchè molto diverso per i diversi vapori; è questa una conseguenza necessaria del principio che già abbiamo stabilito, che cioè i vapori che non sono al massimo di tensione si comportano come i gas per le variazioni di temperatura e di pressione. Gay-Lussac è il primo Fisico che abbia insegnato a determinare la

densità dei vapori. Il suo processo consiste nel determinare il volume che ad una data temperatura occupa, ridotto in vapore, un determinato peso di liquido. Egli adopera perciò una campana di vetro divisa in parti di eguale capacità, e di cui il volume è esattamente conosciuto. Empita questa campana di mercurio si rovescia, a guisa di farne un barometro, in un pozzetto che è costituito da une caldaia di ghisa piene di mercurio. Un largo tubo di vetro, come nella *Fig.* 17, circonda questa campana, e può così formarvisi intorno un bagno d'acqua o di olio, che si riscalda col fornello sottoposto. Il liquido che deve convertirsi in vapore nell'interno della suddetta campana piena di mercurio, vi s'introduce contenuto e chiuso in piccoli recipienti di vetro a pareti sottilissime; è facile di determinare il peso di questo liquido pesando questi recipienti e vuoti e pieni di liquido, e sottraendo da quest'ultimo il primo peso. Allorchè il bagno è riscaldato, il liquido contenuto nel recipiente di vetro si dilata, e lo rompe; allora il vapore si forma, ed il mercurio si abbassa. Deve spingersi le temperatura sino e tanto che il liquido è totalmente convertito in vapore. A questo punto si deve determinare il volume che occupa il vapore e la sua tensione, ciò che si fa misurando nello stesso tempo l'altezza di un barometro ordinario. La differenza fra le due colonne è la forza elastica del vapore. I termometri immersi nel bagno indicano la temperatura del vapore. Il peso del vapore è già conosciuto, per esser quello del liquido introdotto sotto la campana. È facile di dedurre, colla legge di Mariotte, qual sarebbe il volume di questo vapore ridotto alla pressione di 76 centimetri, e alla temperatura di 0°. Gay-Lussac ha trovato che un grammo d'acqua convertito in vapore alla temperature di 100° e sotto la pressione di 0,*metri*76, occupava un volume di 1696 centimetri cubici; e che quindi un volume d'acqua di un centimetro cubico si convertiva in un volume di vapore al massimo di tensione, che è 1696 volte maggiore. La densità del vapore acqueo a 100° è a quella dell'acqua come 1 è a 1696. Da ciò infine si deduce, che il peso del vapore acqueo a 100° e sotto la pressione di 0,metri 76, sta al peso di un egual volume d'aria alla stessa temperatura, e sotto la stessa pressione come 1,06388 sta ad 1,6964 o circa, come 10 a 16, o 5 ad 8. Così $^5|_8$ è la densità assoluta del vapore acqueo. Con questi dati è facile di trovare la densità d' del vapor acqueo ad una temperatura qualunque t, e sotto qualsivoglia pressione p, rappresentando con d la densità di questo vapore a 100°, e sotto la pressione di 760 millimetri e che già abbiamo determinata, si ha

$$d' = d \frac{p}{760} \frac{(1 + 100° a)}{(1 + a\ t\ )}$$

in cui a è il coefficiente di dilatazione eguale per il gas e per i vapori, che sappiamo essere 0,00375. Questa formole ci dà la densità del vapore al massimo di tensione allorchè è noto il valore di t, e allorchè da questo, per mezzo delle tavole, si è determineto in millimetri il valore di p che esprime la tensione massima corrispondente. Facendo questo calcolo per il vapore acqueo o per quello di altri liquidi, si vedrebbe come le densità dei vapori crescono rapidamente colle temperature, e come ad un certo grado di calore questi vapori hanno una densità che non è di molto inferiore a quella del liquido da cui sono formati. V'è una esperienza curiosa di Cagniard de la Tour che rende manifesta questa conseguenza. Introdusse egli in un tubo di vetro a grosse pareti una quantità d'acqua che aveva circa 1|4 del volume interno del tubo, e poscia chiuse il tubo. Esposto allora ad una temperatura gradatamente crescente, vide ad un certo punto scomparire affatto l'acqua, e ricomparire appena era di poco raffreddato. Questo voleva dire che il tubo era interamente pieno di vapore, che tutta l'acqua s'era convertita in vapore, e che perciò la densità di questo vapore era ridotta ad un quarto di quella dell'acqua. Ciò avveniva ad una temperatura poco diversa da quella della fusione dello zinco. È presumibile perciò che ad una temperetura più elevata, la densità del vapor d'acqua al suo massimo di tensione non sia di molto diversa da quella dell'acqua liquida. Ricerche di tal genere sono però assai pericolose a tentarsi; la forza elastica del vapor acqueo a queste temperature equivarrebbe di certo ad una pressione di parecchie migliaia d'atmosfere.

Si verifica per i vapori di tutti i liquidi al massimo di tensione, che aumentano di densità a misura che s'innalza la temperatura a cui si formano. Deve perciò per tutti i liquidi esservi una temperature più o meno alta in cui spariscono compiutamente, convertiti in vapore in uno spazio di poco più grande di quello che occupano. Cagniard de la Tour ha tentate osservazioni di questo genere sopra l'alcool, l'etere ed il solfuro di carbonio, ed ha determinate le temperature e le tensioni corrispondenti. Ha egli trovato che l'alcool a 159° occupa col suo vapore uno spazio triplo, ed ha una tensione a questo punto misurata da 119 atmosfere. L'etere a 200° occupa col suo vapore un volume doppio, ed ha una forza elastica di 37 atmosfere.

Dumas è giunto con un processo assai semplice a determinare la densità dei vapori, specialmente molto densi, anche per quei liquidi che, combinandosi al mercurio, non potrebbero sottoporsi all'apparecchio di Gay-Lussac. Dumas adopera a tal uopo un pallone di vetro (*Fig.* 36) a collo tirato molto sottile, nel quale introduce il liquido di cui vuol determinare la densità del vapore. Il pallone s'immerge in un bagno d'olio o in una lega fusibile, e ivi si tiene legandolo a dei pesi. Il liquido bolle, e allorchè l'ebullizione è finita si nota la temperatura, si osserva il barometro, e colla fiamma di una lampada si chiude il collo del pallone. Non rimangono più che tre pesi da determinarsi : 1.° il peso del pallone col vapore che contiene, 2.° quello del pallone pieno d'acqua, 3.° quello del pallone pieno d'aria secca. Dal secondo si deduce la capacità, dal terzo il peso della materia del pallone, dal primo il peso del vapore.

Ora che conosciamo bene le proprietà dei vapori, ci sarà facile d'intendere come questi possano essere condensati colla compressione e col raffreddamento. Se sopra uno spazio saturo di vapore e quindi al massimo di tensione, si eserciti una nuova pressione o se ne abbassa la temperatura, all'istante una porzione del vapore deve farsi liquida. Se lo spazio non è saturo, il vapore si lascia comprimere e raffreddare come un gas. Per la compressione il vapore aumenta di forza elastica e di densità finchè è al massimo di tensione: allora la tensione e la densità non crescono più, ripassando allo stato liquido tutto quel vapore che satura la capacità o lo spazio che si vien togliendo. Per il raffreddamento, la tensione del vapore decresce prima come quella d'un gas : ma quando la temperatura è abbassata al punto che il vapore, colla densità che ha satura lo spazio in cui è contenuto, allora continuando il raffreddamento si fa liquida una quantità di vapore, e rimane quella che satura quello spazio alle temperature successivamente più basse. Sinchè non s'è fatta liquida la quantità eccedente di vapore, v'è un eccesso di tensione dovuto alla temperatura più elevata da cui s'è partito. L'identità perfetta fra i gas e i vapori che non sono al massimo di tensione, aveva fatto supporre da lungo tempo che i *gas* così detti *permanenti*, non fossero altro che vapori molto lontani dal massimo di tensione alle temperature ordinarie. Davy e Faraday hanno infatti mostrato che molti di questi gas, creduti permanenti, potevano ridursi liquidi sotto una forte pressione. Il processo da loro adoprato consiste nell'introdurre in un tubo di vetro a grossissime pareti, che poi viene esattamente chiuso, i due corpi che per la loro reazione chimica sviluppano il gas che si vuol sottoporre all'esperienza. In questo modo il gas si comprime da se stesso, di mano in mano che per l'azione chimica è sviluppato. Può favorirsi la liquefazione col raffreddamento di quella parte del tubo in cui il gas deve liquefarsi. In un'altra occasione vi ho parlato dell'apparecchio con cui Thilorier è giunto recentemente a liquefare l'acido carbonico. Quest'apparecchio è interamente fondato sopra i principi che abbiamo esposti. L'acido carbonico liquido di Thilorier ha una forza elastica che equivale a 36 atmosfere alla temperatura di 0°. Qual mai sarà il raffreddamento che produrrà questo liquido, il quale bolle a tanti gradi sotto zero? Thilorier dirigendo un getto di vapore d'acido carbonico sopra il bulbo di un termometro ad alcool, ha ottenuto un freddo di 90° sotto zero. Con un termometro a mercurio questo liquido si sarebbe fatto solido.

Devo finalmente parlarvi del calorico che l'acqua o i diversi liquidi assorbono nel convertirsi in vapore. Già v'ho mostrato che questo fatto era generale, che non accadeva mai trasformazione di un liquido in vapore, senza che vi fosse calorico reso latente, e che a qualunque temperatura l'ebullizione si facesse, l'assorbimento del calorico vi era sempre. Se il liquido bolle riscaldato da una sorgente, il calorico latente è mostrato dalla temperatura che rimane stazionaria allorchè è cominciata l'ebullizione e finchè continua; e se il liquido bolle per la diminuzione della pressione atmosferica, come avete visto accadere nel vuoto della macchina pneumatica, sarà la temperatura del liquido stesso che verrà abbassata ; sarà a se stesso e al recipiente in cui è messo, che verrà tolto il calore necessario al cangiamento di stato.

Per determinare il calorico latente del vapor acqueo formato a 100° e sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, convien raccogliere una certa quantità di questo vapore nell'acqua ad una temperatura più bassa. Si prende perciò una storta di vetro, in cui si pone acqua che deve bollire: il collo della storta va a pescare in un recipiente pieno d'acqua fredda e in cui è un termometro. Conviene evitare la condensazione del vapore nel collo della storta, il che si fa tenendolo caldo. È necessario ancora di tenere inclinato il tubo verso la storta, perchè l'acqua che insieme al vapore s'innalza ed è trasportata, non vada a raccogliersi nel recipiente in cui non deve accadere che la condensazione del vapore. Per impedire che il recipiente riscaldato dal vapore e che acqui-

sta così una temperatura più alta di quella dall'aria, perda del calore, si comincia l'esperienza prendendo acqua che sia più fredda dell'aria di quanto all'incirca viene poi ad esser più calda allorchè l'esperienza è finita. Operando con queste cautele è facile sapere di quanto è cresciuto il peso del liquido nel recipiente, e di quanto la sua temperatura si è elevata. A questo modo si può sapere qual' è il riscaldamento che un dato peso di vapore a 100° produce nel for-al liquido, in un egual peso di acqua a 0°: è questo che si chiama calorico latente del vapor acqueo. L'acqua è riscaldata da una doppia azione: la prima è quella dovuta al calore che per l'equilibrio e in *virtù del principio dei miscugli* cede il vapor condensato a 100°, che è la temperatura dell'acqua bollente o del vapore che emette; l'altra è il calore ceduto, reso libero nel passare dallo stato di vapore allo stato liquido senza cangiare di temperatura. È questa seconda quantità di calore che si cerca. Si è trovato che il calore ceduto da un dato peso d'acqua in vapore è capace d'innalzare la temperatura di un egual peso d'acqua da 100° a 531°, 26, o di 631°, 26 prendendo quest'acqua a 0°.

Noi possediamo ancora determinazioni poco precise per i vapori liquidi. Dulong dà per il calorico latente del vapore acqueo, 543 invece di 531. Despretz ha trovato per l'etere 91, per l'alcool 208, e 77 per l'olio essenziale di trementina.

Potrebbe ora chiedersi, se il vapore formato alle diverse temperature e quindi dotato di diversa forza elastica e densità, ha ancora un calorico latente diverso: in una parola può domandarsi, se per formare del vapore che abbia la forza elastica di una, due o più atmosfere, si richiede sempre una stessa quantità di calorico, se v'è sempre lo stesso calorico latente. Watt, e in seguito Clement e Desormes, hanno ammesso che il calorico latente è costante pel vapore acqueo, qualunque sia la forza elastica e la temperatura a cui il vapore si forma.

Southern aveva stabilito che per avere il calorico latente del vapore formato alle diverse temperature, conveniva aggiungere a 531, o a 543 secondo Dulong, l'eccesso di temperatura sopra 100°, che ci vuole perchè l'acqua sviluppi il vapore dotato di forze elastiche maggiori. Per cui se un chilogrammo di vapore a 100°, che ha la forza elastica di un'atmosfera, ha 100°+531 di calorico latente, avrà, quando abbia la forza elastica di due atmosfere 122+531, e così in seguito. Dulong, di cui non sono ancora pubblicati i risultati in proposito, diceva che nè l'una nè l'altra di queste due ipotesi era esatta.

LEZIONI LXXIV e LXXV.

Miscuglio dei vapori coi gas. — Evaporazione. — Circostanze che la favoriscono. — Freddo prodotto dall'evaporazione. — Igrometria. — Dell'ebullizione. — Pentola di Papin. — Macchine a vapore. — Riscaldamento a vapore.

Sin qui abbiamo studiata la formazione dei vapori nel vuoto: esaminiamo ora ciò che accade di un liquido posto in uno spazio limitato pieno d'aria, o di un gas qualunque. L'esperienza di tutti i giorni ci prova che l'acqua e molti altri liquidi si convertono continuamente in vapore: l'esistenza del vapor acqueo ci è anche provata da tutti quei corpi che hanno affinità per l'acqua, e che crescono di peso esposti all'aria. Lo stesso ci prova quella rugiada che si depone sopra tutti i corpi i quali sono ad una temperatura molto più bassa di quella dell'ambiente. Lo provano in ultimo i fenomeni della pioggia, delle nebbie, della rugiada. Ma come avviene questa evaporizzazione? Parliamo prima di ciò che accade in uno spazio limitato pieno d'aria: poi si vedrà quello che avviene nell'atmosfera.

Per osservare i fenomeni presentati dal miscuglio dei vapori e dei gas, Dalton si servì di un pallone di vetro M (*Fig.* 19.) in cui può farsi il vuoto, ed introdursi per mezzo del robinet *n* un gas qualunque perfettamente asciutto. Il barometro *a b c* misura la forza elastica del gas che è nel pallone. Per mezzo del robinet *p* a goccia s'introduce il liquido nel pallone. Dalton trovò il primo, esperimentando con quest' apparecchio, che i vapori si formavano in uno spazio vuoto, e che nei due casi la differenza si riduceva al tempo maggiore che impiegava nel primo caso a formarsi il vapore. Eccovi un altro apparecchio immaginato da Gay-Lussac, che ci proverà facilmente questa legge di Dalton. Consiste questo [*Fig.* 44. *bis.*] in un largo tubo di vetro verticale diviso in parti di egual capacità, che porta alle due estremità due appendici d'acciaio munite di un *robinet*. Questo tubo comunica

in basso con un tubo più stretto di vetro, che s'innalza verticalmente e rimane aperto. S'empie di mercurio il tubo grande, da cui passa nel piccolo tubo prendendo lo stesso livello in ambidue. Si chiudono i *robinet*, s'innesta a vite sopra il tubo grande un pallone pieno d'aria secca; s'aprono allora i due *robinet*, il superiore e l'inferiore. Il mercurio esce, ed entra in luogo di esso l'aria secca del pallone. Quando è introdotta una certa quantità d'aria si chiudono i *robinet*, e si toglie il pallone: si versa tanto mercurio per il piccolo tubo, sino a che l'aria interna sia ridotta alla densità dell'esterna, nel qual caso il mercurio è egualmente alto nei due tubi che sono in comunicazione. Si nota allore il volume V dell'aria contenuta nel tubo grande. Ciò fatto, s'innesta sull'alto del tubo un *robinet* a goccia, per mezzo del quale si può introdurre un liquido nel tubo. Prendo l'etere acciò i risultati sieno più evidenti. Si fanno cadere varie gocce di questo liquido nel tubo perchè l'aria possa saturarsi del vapore d'etere. Il volume dell'aria va crescendo, e dopo un certo tempo rimane stazionario, anche aggiungendo nuove gocce. A questo punto lo spazio d'aria è di certo saturo di vapori. Devesi allora introdurre per il piccolo tubo tanto mercurio, da obbligare il volume dell'aria satura di vapore a ritornare come innanzi, eguale a V. Si vede il mercurio rimanere nel piccolo tubo più alto di prima, ed è certo che questo eccesso di pressione interna è dovuto alla sola forza elastica di quel vapore che vi si è sviluppato e che è al massimo di tensione. L'aria difatti è stata ridotta al suo primo volume. Suppongo di avere intento due barometri ordinari, e di aver fatto con uno l'esperienza che già vedeste, cioè d'avere introdotto un poco d'etere nel vuoto barometrico di uno di questi. So a questo modo quenta è la forza elastica massima del vapore d'etere formato nel vuoto. Il risultato della nostra esperienza sarà, che la forza elastica massima del vapor d'etere formato in mezzo all'aria è la stessa di quella di questo vapore formato alla medesima temperatura nello spazio vuoto. La colonna del barometro è tanto depressa, quanto è alta quella del piccolo tubo dell'apparecchio di Gay-Lussac. Qualunque fosse il gas adoperato, qualunque la sua densità o forza elastica, qualunque il liquido introdottovi e convertito in vapore, il risultato non sarebbe stato diverso. Può esprimersi in questi termini generali: uno spazio limitato pieno di aria o d'un gas qualunque a contatto di un liquido, si satura di vapore come se lo spazio fosse vuoto; l'elasticità del miscuglio del vapore e dell'aria è eguale alla somma delle forze elastiche che il vapore e il gas vi prenderebbero, esistendovi separatamente. La differenza sola prodotta dalla presenza dell'aria, sta nella rapidità con cui lo spazio si satura di vapore se è vuoto; mentre se è pieno d'aria, si richiede un certo tempo perchè questo avvenga.

Eccoci così ad una nuova analogia fra i vapori ed i gas: ricordatevi di quello che accade mescolando insieme i gas, purchè essi non abbiano azione chimica. Ognuno dei gas esiste ed agisce nel miscuglio colla sua forza elastica, indipendentemente dagli altri con cui è mescolato, e come se fosse solo.

Nel caso, in cui lo spazio nel quale il vapore si forma, è estendibile, può facilmente intendersi ciò che deve accadere. Lo stesso apparecchio ci dirà cosa avviene. Dopo che il volume occupato dall'aria e dal vapore è stato ridotto a V, per cui nel piccolo tubo rimane sollevata una colonna di mercurio che indica la forza elastica del vapore, si fa escire una certa quantità di mercurio dal *robinet* inferiore, e così s'estende lo spazio V, sino a tanto che si vede discendere e fissarsi nel piccolo tubo il mercurio allo stesso livello del tubo grande. Il miscuglio del vapore e del gas ha, in questo modo, una forza elastica eguale alla pressione atmosferica. Se in vece del vapore fosse stato coll'aria mescolato un altro gas, il cambiamento di volume e di forza elastica sarebbe accaduto secondo la legge di Mariotte; lo stesso sarebbe avvenuto se il vapore non fosse stato costantemente al massimo di tensione o di densità. Ma poichè uno strato liquido di etere è rimasto sopra il mercurio anche dopo l'aumento dello spazio, è accaduto che una nuova quantità di vapore s'è formata a misura che lo spazio si è accresciuto, e che alla fine il vapore ha conservato nello spazio esteso la stessa tensione massima che avea prima che lo spazio fosse accresciuto. La forza elastica dell'aria è, per conseguenza, ridotta a ciò che manca alla forza elastica del vapore per equivalere alla pressione atmosferica. Se la forza elastica del vapore equivale ad una mezza atmosfera, l'aria non sosterrà più che la pressione dell'altra metà, per cui dovrà il suo volume divenir doppio. Basterà dunque di conoscere la forza elastica massima del vapore per essere in grado di determinare il nuovo volume che dovrà prendere il miscuglio del vapore e dell'aria. Sia, per esempio, v il volume primitivo dell'aria secca ad una pressione qualunque p, e sia f la forza elastica del vapore. Il volume v deve dilatarsi mescolandosi al vapore fino a che la sua forza elastica così diminuita, aggiunta a quella del vapore, equivalga alla pressione atmosferica. La forza

elastica dell'aria nel nuovo volume è espressa da $p - f$, e quindi il volume del miscuglio è $V = v \times \frac{p}{p-f}$ Nello stesso modo sarà facile di determinare la densità dell'aria e quella del vapore che stanno mescolati, e per conseguenza quella del loro miscuglio. Difatti la densità dell'aria nel miscuglio starà alla densità di un'altra massa d'aria asciutta e alla stessa temperatura e pressione del miscuglio, come $p - f$ sta a p; la densità del vapore si avrà moltiplicando per $^5/_8$ o meglio per 0,620, la densità che dovrebbe aver l'aria secca se fosse alla stessa sua temperatura ed avesse la medesima sua forza elastica. Questa densità sommata a quella dell'aria con cui è mescolata, darà la densità del miscuglio. Sotto la stessa pressione ed alla stessa temperatura un volume d'aria sarà perciò tanto meno pesante, quanto più l'aria sarà satura di vapor acqueo. S' intende egualmente come al crescere della temperatura dovrà aumentare la quantità del vapore contenuto nell'aria ad una pressione costante : elevandosi la temperatura cresce la tensione e la densità del vapore, e scema quella dell' aria. Eccovi un quadro che vi mostra il successivo aumento nella quantità del vapore acqueo che satura l'aria alla pressione di 760 millimetri di mercurio per le diverse temperature.

TEMPERATURE *espresse in gradi centigradi*	TENSIONI *espresse in millimetri*		PESI, *posto* = 1 *il peso di un egual volume d'aria asciutta alla stessa pressione e alle stesse temperature*		
	del solo vapore	*della sola aria*	*Peso del vapore*	*Peso della sola aria*	*Peso totale*
— 10°	2,63	757,37	0,0021	0,9965	0,9986
0°	5,06	754,94	0,0041	0,9933	0,9974
+ 10°	9,47	750,53	0,0077	0,9875	0,9952
+ 20	17,27	742,73	0,0141	0,9773	8,9914
+ 30	30,65	729,35	0,0250	0,9597	0,9847
+ 40	52,89	707,11	0,0431	0,9304	0,9735
+ 50	88,73	671,27	0,0724	0,8832	0,9556
+ 60	144,66	615,34	0,1180	0,8097	0,9277
+ 70	229,07	530,93	0,1868	0,6986	0 8854
+ 80	352,13	407,87	0,2872	0,5367	0,8239
+ 90	525,28	234,72	0,4285	0,3088	0,7373
+ 100	760,00	0,00	0,6200	0,0000	0,6200

La condensazione del vapore mescolato coll'aria o con un gas qualunque, accaderà per quelle stesse due ragioni per cui avviene nel vapore formato in uno spazio vuoto. Queste due ragioni sono un abbassamento di temperatura, o un aumento di pressione. Prendasi un dato volume d'aria umida alla temperatura di 20° sotto la pressione ordinaria di 760 millimetri. Supponiamo che la forza elastica del vapor acqueo che contiene, equivalga a 10 millimetri : sarà questa la parte della pressione atmosferica che il vapore sopporta. Lo spazio non è di certo al massimo di tensione, nè è perciò saturo di vapore. Comprimendo questo miscuglio, la tensione e la densità del vapore e dell'aria saranno accresciute; portata questa tensione al massimo per il vapore, se sarà ancora accresciuta, una porzione del vapore sarà costretta a convertirsi in liquido, e la sola densità e forza elastica dell'aria cresceranno. Nell'istesso modo raffreddando il miscuglio sino alla temperatura alla quale il vapore ha per forza elastica massima 10 millimetri, una porzione di vapore si farà liquida, continuando a raffreddare maggiormente. Non deve perciò più far meraviglia, come un vapore, che supposto nel vuoto, non è capace di sostenere una pressione di 1/4 di 1/3 di 1/2 atmosfera, senza condensarsi, possa mantenersi nell'atmosfera mescolato nell'aria sotto la pressione di un'atmo-

sfera. Questo avviene sempre per quel principio generale sopra il quale ho tanto insistito, e che è comune ai vapori ed ai gas. In uno spazio pieno di diversi gas mescolati insieme, ognuno di questi sostiene una parte della pressione totale, come se vi fosse solo. Nell'aria in cui v'è 1/5 d'ossigene e 4/5 d'azoto, l'azoto sopporta 1 4/5 e l'ossigene 1/5 solo della pressione totale atmosferica che soffra il miscuglio. Così se un vapore, quello dell'etere, per es., che ha alla temperatura ordinaria una forza elastica equivalente a circa quella di una mezza atmosfera, mescolato all'aria che è alla pressione ordinaria, sostiene la pressione di una mezza atmosfera.

Le cognizioni che era possediamo bastano a renderci pienamente ragione del fenomeni che presenta un liquido esposto all'aria o ad un gas qualunque, allorchè è riscaldato o semplicemente esposto alla temperatura dell'atmosfera. Sulle prime un liquido riscaldato emette una certa quantità di vapore, la quale si produce alla sola superficie del liquido: è questo il fenomeno dell'evaporazione. Continuando a riscaldare si giunge ad un punto in cui la sua temperatura rimane stazionaria per quanto sia grande il calore che gli è applicato, ed è allora che il liquido entra in ebullizione, che le bolle del vapore si formano al fondo del recipiente, e si sollevano ed attraversano il liquido.

Parliamo prima dell'evaporazione. Questo fenomeno avviene a tutte le temperature, ed accade nel vuoto colla massima rapidità; ma invece si fa lentamente nell'aria che è perfettamente in riposo. Anche il ghiaccio, benchè solido, produce vapore; ed il suo peso diminuisce, quantunque esposto ad una temperatura inferiore a quella dello 0. Quanto più è alta la temperatura del liquido, tanto più è grande la quantità del vapore che si forma. Se l'aria è satura di vapore, l'evaporazione s'arresta; ed ecco perchè questa è molto lenta nell'aria che non è agitata e rinnovata a contatto del liquido. Il vapore satura da prima lo strato dell'aria che è a contatto della superficie del liquido e l'evaporazione continua in un'aria anche tranquilla, perchè il vapore rende l'aria con cui si mescola più leggiera, e fa che s'innalzi e ceda il posto a nuova aria. Favorendo questi rinnovamenti, l'evaporazione si fa più rapida. Ecco perchè veggiamo non formarsi più vapore, chiudendo con un coperchio la capsula in cui si sviluppa, ed anche lasciando una piccola apertura. Appena il coperchio è tolto, il vapore si forma. È egualmente facile d'intendere che l'evaporazione è maggiore, se si fa in modo che il liquide presenti all'aria la superficie più estesa che sia possibile. Tutte queste circostanze, secondo le quali varia la rapidità della evaporazione, ci sono provate dalle esperienze le più comuni. È però necessario che cerchiamo di farci un'idea ben chiara di questo fenomeno. La legge del miscuglio del gas coi vapori, che già abbiamo stabilita, e alcune considerazioni sopra le azioni molecolari, basteranno al nostro scopo. L'evaporazione ha luogo a temperature tanto basse, che di certo il vapore che si forma non può avere una forza elastica capace di vincere la pressione atmosferica: eppure si forma il vapore a tutte le temperature, e questo è il fatto che bisogna spiegare. Risovvenitevi dell'esperienza già descritta di Berthollet, in cui due gas di una densità molte diversa sono messi a contatto essendo in alto il più leggiero. Malgrado questa disposizione i due gas si mescolano, e si forma un tutto omogeneo. Ognuna delle molecole del gas idrogene, che è situata presso la superficie di separazione dei due gas, deve perciò considerarsi soggetta a pressioni disuguali, e non è che quando il miscuglio omogeneo si è formato, che deve considerarsi ogni molecola di gas egualmente premuta in tutti i sensi.

Ricordatevi ancora di quello che accade allorchè un liquido, una massa d'acqua qualunque priva interamente di gas, è posta a contatto di un'atmosfera gassosa. Sapete che una porzione di gas si discioglie e penetra nell'acqua. Prima che la dissoluzione avvenga, ogni molecola del gas a contatto della superficie liquida è soggetta a due azioni o pressioni diverse, l'una delle quali è prodotta dal gas stesso, l'altra dalle molecole dell'acqua. Perchè la dissoluzione abbia luogo, conviene ammettere che queste azioni sieno disuguali, e che l'equilibrio non sussista se non quando ogni molecola del gas a contatto della superficie è premuta da una parte dal gas stesso, e dall'altra dall'acqua e dal gas che vi si è disciolto. Delle azioni analoghe a queste devono produrre il fenomeno dell'evaporazione. La rapida evaporazione di un liquido esposto ad uno spazio vuoto, ci prova che le molecole che limitano questa massa sono soggette ad una specie di azione ripulsiva dovuta alle molecole sottoposte: è forse questa una conseguenza dell'azione non simmetrica del calore sopra le molecole della superficie di una massa liquida. Cessa la formazione del vapore allorchè ogni molecola liquida della superficie è egualmente premuta dal vapore formato e dall'acqua sottoposta; anche ogni molecola di vapore a contatto della superficie liquida deve soffrire pressioni egua-

li dal vapore stesso e dal liquido, e in questo caso l'azione del liquido sopra la molecola di vapore deve considerarsi eguale a quella che in suo luogo vi eserciterebbe un volume di vapore che avesse la stessa tensione del vapore. L'intensità di queste azioni esercitate presso la superficie di separazione del vapore e del liquido, variano colla temperatura. Allorchè poi un gas qualunque riempie lo spazio presentato al liquido, il gas penetra nel liquido, le molecole liquide della superficie si convertono in vapore che va a collocarsi e a distribuirsi, formando un tutto omogeneo, fra le molecole dell'aria. L'equilibrio in questo caso sussiste, allorquando le molecole del gas e del liquido che sono presso la superficie di separazione, provano due somme di azioni eguali, dovute ai mezzi eterogenei formati col doppio miscuglio dell'aria e dell'acqua, del vapore e dell'aria, e l'equilibrio ultimo è identico a quello che avviene nel caso del liquido e del suo vapore, e a quello d'un gas e del liquido in cui si discioglie. Tutte le circostanze che favoriscono l'evaporazione divengono una manifesta conseguenza di questa teoria. Il miscuglio dei vapori coi gas deve operarsi con quelle stesse leggi con cui avviene il miscuglio dei gas fra loro: l'evaporazione è tanto più rapida quanto più l'aria è meno densa e più agitata, per quella stessa ragione per cui il gas idrogene, che è il meno denso, il più poroso dei gas, si mescola più rapidamente dell'aria col gas acido carbonico.

Comunque avvenga la trasformazione di un liquido in vapore, deve sempre esservi assorbimento di calore, ed evidentemente la quantità del calore assorbito sarà proporzionale alla quantità di vapore che si forma. Tutte le circostanze che abbiamo visto render più rapida l'evaporazione, aumentano l'abbassamento di temperatura e il freddo che si produce. Se i corpi che circondano il liquido che s'evapora non gli cedessero calore, sarebbe infinito il raffreddamento che per questo mezzo accadrebbe. L'abbassamento di temperatura prodotto dall'evaporazione giunge perciò al suo massimo allorchè il calore assorbito e reso latente, viene ceduto, comunicato al liquido che s'evapora, dai corpi che lo circondano. Questo raffreddamento prodotto dall'evaporazione, ci spiega un gran numero di fenomeni comunissimi. Se il bulbo di un termometro è bagnato di un liquido, scegliendo specialmente quello che produce un vapore dotato di una tensione maggiore alle temperature ordinarie, il termometro indica subito un grande abbassamento di temperatura. Il raffreddamento è più rapido se si agita il termometro nell'aria; è tanto maggiore questo raffreddamento, quanto più l'aria è meno densa. Da ciò la spiegazione di un fatto osservato da tanto tempo, che, cioè, un termometro immerso in un liquido indica sempre una temperatura un poco meno alta di un egual termometro esposto all'aria. Nell'interno dei boschi v'è, in parte per l'evaporazione dell'acqua di cui i vegetabili sono imbevuti, una temperatura sempre più bassa di quella dell'aria fuori del bosco. Per questa ragione stessa si tiene, in estate, fresca l'aria di una stanza spargendo acqua sopra le tende che sono di faccia alle finestre, e tenendo vasi con piante nella stanza stessa. Si usano in Oriente dei vasi di una terra porosa che s'imbeve dell'acqua, e nei quali l'acqua è sempre molto più fredda dell'ambiente. Questi vasi, detti *alcazaras*, servono a ciò, per l'evaporazione dell'acqua di cui sono imbevuti. Provate ad immergere una mano nell'etere o nell'alcool, e sentirete un freddo molto sensibile, esponendola all'aria. La temperatura del nostro corpo è mantenuta costante per il grado diverso di evaporazione che ha luogo nelle diverse stagioni. Nell'inverno il vapore che emettiamo dalla pelle, la traspirazione insomma, è minore, e quindi il calore animale si disperde meno: il contrario avviene nell'estate. Il freddo che si prova saliti sopra un monte è in parte dovuto all'evaporazione maggiore che avviene per la minore densità dell'aria. Fate che l'aria sia satura di vapore, e una temperatura anche non molto alta in quest'aria diventa per noi insopportabile; fate invece che sia asciutta, e si può reggere anche ad alte temperature. Nel primo caso l'evaporazione cessa, nel secondo è accresciuta. S'intende ancora, con questi principi, come il vapore a 100°, che ha la forza elastica dell'atmosfera, produca un calore insopportabile nella mano che vi è immersa, mentre si può stare contro un getto di vapore che esca da un vaso con una forza elastica maggiore. In questo secondo caso il vapore si estende, si dilata, e una porzione di calore è resa latente, anche l'aria stessa è dilatata rapidamente, e perciò è maggiore il raffreddamento. Vedete da tutto questo, quanto c'interessi di poter determinare, misurare in qualche modo il grado di *umidità* dell'atmosfera. Tutti i fenomeni meteorologici che maggiormente c'interessano, non possono intendersi senza aver prima studiato in che consista, come si misuri lo stato *igrometrico* dell'atmosfera.

Umidità dell'atmosfera e quantità assoluta di vapor acqueo nell'aria, non sono la stessa cosa. Diciamo che in inverno l'aria è ordinariamente umida, e che in estate è

asciutta. Di certo la quantità di vapor acqueo che è in un dato volume d'aria, è maggiore nell'estate che nell'inverno. Questa quantità è infatti, come ben sapete, sempre proporzionale alla temperatura. Per noi, insomma, l'aria è tanto più umida, quanto più facilmente il suo vapore si fa liquido. Lo stato igrometrico dell'aria, la sua umidità, significano dunque il rapporto che passa fra la quantità di vapore che è contenuto nell'aria e quella che vi sarebbe se fosse satura. L'aria è difficilmente satura di vapore: nel caso in cui ciò sia, la ricerca è assai semplice. Quando è conosciuta la temperatura che ha quest'aria satura di vapore, è pur conosciuta la tensione massima del vapore stesso: in uno spazio o pieno o vuoto, ad una data temperatura, si forma sempre la stessa quantità di vapore. Supponiamo che la tensione massima del vapore mescolato all'aria sia di un centimetro, a che faccia, cioè, equilibrio ad una colonna di mercurio alta un centimetro. È certo che il peso del vapore contenuto in un dato volume di quest'aria satura di vapore, è eguale al peso di un egual volume d'aria presa alla stessa temperatura, ridotta alla stessa pressione di un centimetro, e moltiplicato per $^5/_8$, che è la densità assoluta del vapor acqueo. È con questi principî che correggiamo il peso di un dato volume di un gas della quantità del vapor acqueo che contiene. Si suppone questo volume saturo di vapor acqueo, e si deduce dalla temperatura la tensione massima del vapore che contiene. Sottratta questa tensione dalla totale forza elastica del gas saturo, si ha la sola forza elastica del gas. Si hanno così tutti i dati per determinare la quantità d'acqua che vi è sparsa in vapore, non che per ridurre quel volume al volume che avrebbe alla pressione atmosferica asciutta, e alla temperatura dello 0°.

Ma quando l'aria non è satura, come può determinarsi la quantità di vapore acqueo che è contenuto in un dato volume di essa? È questa la questione che forma il soggetto dell'igrometria: si vuol sapere quanto vapore deve aggiungersi a quello che già esiste in un dato volume d'aria perchè sia satura, o di quanto deve abbassarsene la temperatura, perchè questo stesso risultato abbia luogo. Notate, io dico che il grado d'umidità dipende dalla quantità di vapore che è in un *dato volume* d'aria, e non già in un *dato peso* d'aria; qualunque sia la densità dell'aria, sappiamo che essa contiene ad una determinata temperatura sempre la stessa quantità di vapore, per cui o molto densa o assai rarefatta che sia l'aria, quella quantità di vapore che si suppone contenere, sarà sempre una medesima frazione della quantità totale che può saturarla. D'altronde s'intende assai facilmente che una certa massa d'aria che contiene una quantità costante di vapore può essere più o meno secca secondo che, senza cangiare di temperatura, occuperà uno spazio più o meno grande. Anche il vapore vi sarà allora più o meno lontano al punto della massima densità, che è il punto della massima umidità dell'aria.

Dipende dalla sua temperatura il grado d'umidità dell'aria; per una data quantità di vapore che contiene, questo vapore è tanto più lontano dal punto di saturazione, quanto più è caldo lo spazio in cui si trova. Il riscaldamento dell'aria influisce a renderla più secca, e perchè è tanto maggiore la quantità del vapore che può contenere senza esserne satura, e perchè essendo più dilatata l'aria, lo è anche il vapore che vi è contenuto.

Noi possiamo costringere un dato volume d'aria che contiene del vapore senza esserne satura, ad uno spazio minore, accrescere la pressione a cui è soggetta, e portarla così al punto di saturazione. Supponete che l'aria contenga la metà della quantità di vapore che a quella data temperatura può contenere essendone satura. Basterà di ridurla alla metà del suo volume, senza cambiarne la temperatura, perchè sia satura. Sarebbe dunque questo un modo di determinare lo stato igrometrico: consisterebbe nel cercare di quanto conviene diminuire un dato volume d'aria umida per ridurla ad esser satura di vapore. Questo modo però è assai difficile a mettersi in pratica: è quasi impossibile, operando sopra piccoli volumi di aria, di scorgere l'istante a cui è satura, notando la piccolissima quantità d'acqua che si fa liquida. È anche difficile di operare la riduzione di un volume d'aria senza variarne la temperatura.

Un altro modo assai più facile a praticarsi per determinare lo stato igrometrico dell'aria, è quello di trovare la temperatura alla quale quella quantità di vapore che contiene, la rende satura. Il rapporto fra la temperatura dell'aria e quello a cui bisogna scendere perchè sia satura, è ciò che rappresenta lo stato igrometrico dell'aria. Quanto più convien abbassare la temperatura dell'aria per ridurla satura, tanto più l'aria è asciutta, ed è tanto più umida quanto più questi due punti di temperatura sono vicini. Eccovi un vaso di vetro, in cui metto acqua alla temperatura dell'ambiente. V'è un termometro immerso. Aggiungo all'acqua alcuni pezzi di ghiaccio, e osservo la distanza quando il vetro comincia ad appannarsi, a

coprirsi di un velo d'acqua. In quel momento guardo al termometro, e segno la temperatura. Per esser più certi di questa temperatura del punto della *rugiada*, lascio che il ghiaccio sia tutto fuso e che l'acqua si riscaldi di nuovo. Noto ancora a qual temperatura comincia a dileguarsi la rugiada. La media delle due temperature, cioè di quella a cui si forma e dell'altra a cui si dilegua la rugiada, fornisce un dato più esatto della temperatura alla quale l'aria è satura di vapore. Ecco com'è accaduta la formazione della rugiada in quest' esperienza; è questo d'altronde un fenomeno, che assai frequentemente osserviamo e sui vetri nell'interno delle stanze allorchè l'aria esterna è fredda, e sopra le pareti dei vasi nei quali s'introduce acqua fredda in estate. È pure un fenomeno simile quello dei bagnarsi che fanno, per certi venti umidi, le pareti delle stanze fredde, certi pavimenti o sassi, i quali conservano la temperatura bassa che hanno preso. Bellani vuole spiegare in questo modo l'origine di alcune sorgenti: le correnti d'aria che nell'estate traversano e scendono nell'interno dei monti, vi si raffreddano e vi condensano il vapor acqueo che contengono. Un corpo freddo esposto all'aria atmosferica abbassa la temperatura dell'aria stessa che gli è a contatto e quindi anche quella del vapore che contiene: l'aria e il vapore si costipano, si fanno più densi, e continuando il raffreddamento, il vapore giunge al massimo di densità, oltre il quale non può più crescere di densità, nè mantenere quella tensione. Una parte perciò di questo vapore è costretta a farsi liquida se il raffreddamento continua: il vapore che rimane nell'aria deve avere quella densità e tensione massima che corrispondono alla nuova temperatura a cui è disceso.

Conosciuta la temperatura alla quale il vapore si fa liquido e si depone sulle pareti del recipiente freddo, si trova nelle tavole che danno il rapporto fra le temperature, le forze elastiche e le densità massime del vapor acqueo, la tensione corrispondente; questa tensione è quella stessa che ha il vapore nell'aria non raffreddata. Difatti il raffreddamento di questo miscuglio d'aria e di vapore preso in mezzo all'atmosfera, non fa che accrescerne la densità, contrarne i volumi, senza che la tensione del miscuglio, equivalente sempre alla pressione barometrica, e le tensioni rispettive del vapore e dell'aria, possano variare. Si sa dalle tensione massima del vapore corrispondente alla temperatura della condensazione, quale è la sua densità e quindi qual è il peso totale del vapore contenuto in un dato volume d'aria. E poichè nel passare da questa densità a quella che ha alla temperatura dell'ambiente, si dilata come un gas, è facile di determinare il rapporto delle densità del vapore alle due diverse temperature. Si sa ancora dalle tavole suddette, quale è la tensione massima che corrisponde alla temperatura dell'ambiente. Dalla determinazione della temperatura o *termine* di saturazione, può dedursi immediatamente la quantità di vapor acqueo contenuto in un volume d'aria, ed è pure fissato il grado dell'umidità dal rapporto fra le forze elastiche massime alle due temperature, il che equivale a sapere quanto vapore manca ad un dato volume d'aria perchè sia saturo alla temperatura da cui si parte. L'igrometro di Daniel (*Fig.* 23) è quello che per il primo è stato immaginato onde determinare facilmente questo termine di saturazione. Consiste in due palle di vetro *a* e *b* riunite da un tubo doppiamente ripiegato. Una di queste palle contiene dell'etere; essa è annerita per lasciare scorger meglio il punto in cui s'appanna. Nel suo centro v'è un termometro di cui la scala *c e* è nel tubo. L'altra palla *a* è vuota, ed è terminata da una punta che è stata necessaria per far bollire l'etere, e cacciare l'aria prima di chiudere il tubo. L'apparecchio è sostenuto sopra una colonnetta *h g* che porta un altro termometro *k l*. Si comincia l'osservazione bagnando d'etere la palla *a*, che è perciò coperta di una tela sottile. L'etere s'evapora, raffredda la palla, ed il vapor che contiene si condensa. Allora si forma nuovo vapore dell'etere che è in *b*, e quindi anche questa palla si raffredda. Così è raffreddata l'aria che la circonda, ed il termometro *d* indica la temperatura a cui alla fine il vapore dell'aria vi si depone in rugiada.

Pouillet e Belli hanno immaginato altri igrometri, fondati sopra la temperatura della saturazione. In quest'istrumenti l'appannamento si fa sopra una lamina metallica d'oro o d'acciaio lucente.

Questi igrometri, per quanto esatti nelle loro indicazioni più di quello di Saussure che passo a descrivervi, esigono però tutti molta abilità di osservare, molto tempo per fare l'osservazione. L'igrometro di Saussure si fonda sopra l'allungamento che soffre un capello nell'assorbire il vapor acqueo. Si rende il capello sensibile alle variazioni anche piccole di umidità, spogliandolo della parte grassa che contiene col tenerlo in una soluzione debolmente carica di potassa. Così preparato, un capello s'allunga passando dall'estremo secco alla massima umidità di $^{1}/_{50}$ circa della sua lunghezza. Si fissa il capello (*Fig.* 24) ad un'estremità in una pinzetta *a*: l'altra è girata, e poi fissata nel sol-

to di una piccola puleggia b mobilissima, la quale porta un indice $m\,n$ che segna i suoi movimenti sul quadrante $p\,q$. Un picciol peso c di 2 o 3 grani attaccato ad un filo di seta, è pure fissato e avvolto nel solco della carrucola in modo, che tenda a stirare il capello. È chiaro che coll'allungarsi o accorciarsi del capello l'ago si muoverà sul quadrante.

Per graduare quest'igrometro, Saussure lo colloca prima sotto una campana in cui v'è cloruro di calcio, o calce fresca, o acido solforico. Dopo due o tre giorni l'ago rimane fisso, l'aria della campana è compiutamente asciutta. Si fa più presto operando nel vuoto. Basta di scaldare un poco la campana ed esporla al sole, per esser certi, se l'ago non si muove, che il punto della massima siccità è ben determinato; si segna 0° nel quadrante a questo punto. È portato poscia l'igrometro sotto una campana di cui le pareti sono bagnate, e che riposa sopra un bagno d'acqua. Dopo poche ore, l'ago si fissa in un altro punto in cui si segna 100°, che è il grado della massima umidità. Va diviso quest'intervallo in 100 parti eguali. Costruendo l'istrumento con la cura necessaria, le sue indicazioni si corrispondono in tutte le circostanze; esso è comparabile. È chiaro che il capello, a qualunque temperatura si trovi l'aria satura di vapore, farà liquida sempre la stessa quantità di vapore; questa quantità sarà quella che può assorbire per la sua affinità. La forza la più piccola basta a produrre la liquefazione del vapore allo stato di saturazione. La quantità del vapore assorbito è d'altronde piccolissima rispetto a quella che satura lo spazio. È dunque certo, che in qualunque circostanza l'igrometro di Saussure indicherà il massimo di siccità e il massimo di umidità dell'aria: non è però così dei gradi intermedi dell'igrometro, i quali non sono necessariamente proporzionali agli stati igrometrici dell'aria. Abbiamo però delle tavole che stabiliscono la relazione fra i gradi d'umidità e quelli dell'igrometro di Saussure. Per trovare le tensioni del vapore che corrispondono ai diversi gradi dell'igrometro, conveniva cercarle per ogni temperatura. Gay-Lussac ha dato una tavola di questo genere per la temperatura di 10°. È assai semplice il modo con cui s'ottiene questa scala. Il vapore acqueo formato da diverse soluzioni saline ha una tensione diversa, e minore sempre di quella che ha formato dall'acqua pura: e difatti una soluzione salina introdotta nel vuoto barometrico produce, alla stessa temperatura, una depressione minore di quella che vi produrrebbe l'acqua pura. Si possono determinare col barometro le tensioni diverse che sono prodotte dal vapor acqueo formato dalle varie soluzioni. Con queste stesse soluzioni si può empir di vapore una campana in cui si trovi l'igrometro il quale perciò vi giungerà a segnare diversi gradi intermedi fra 0° e 100°. Ecco la scala di Gay-Lussac per 10° di temperatura. A 10° la tensione del vapor acqueo è 9,mm49. Chiamasi 100 questa tensione massima.

Gradi dell'igrometro	*Tensione o densità del vapore*
100	100
90	79,1
80	61,2
70	47,2
60	36,3
50	27,8
40	20,8
30	14,8
20	9,5
10	4,6
	0

Questa tavola è inutile quando si voglia unicamente sapere, se l'aria è più o meno umida, più o meno lontana dal massimo di umidità.

Non finirei mai se volessi descrivervi tutti i diversi processi igrometrici che si sono immaginati. Leslie si è servito del freddo che è prodotto dall'evaporazione. Un liquido nell'aria s'evapora tanto più, quanto più l'aria è secca, e quindi tanto è più grande il suo raffreddamento. L'igrometro di Leslie è una specie di termometro differenziale, in cui uno dei bulbi è tenuto costantemente bagnato con acqua. Si è determinata anche l'umidità col diverso aumento di peso che avviene nei corpi i quali hanno molta affinità per l'acqua. Gli Accademici del Cimento raccoglievano l'acqua sopra le pareti di un recipiente in cui tenevano un miscuglio frigorifico.

Dobbiamo finalmente compiere questo trattato sulle proprietà dei vapori e sopra la loro formazione, ritornando a parlare più diffusamente dell'ebollizione dei liquidi.

Allorchè un liquido esposto all'aria è riscaldato da una sorgente qualunque di calore applicata al basso del recipiente che lo contiene (*Fig.* 14), il primo effetto che si scorge è la maggiore evaporazione che ha luogo alla superficie del liquido. Continuando il riscaldamento, si veggono alla fine formarsi bolle di gas, e specialmente al fondo, poi sulle pareti laterali, e infine in tutti i punti della massa liquida. Questo fenomeno è quello che si chiama *ebollizione*. Già si è visto che la temperatura del liquido era a

questo punto stazionaria. Ora che sappiamo che la temperatura alla quale un liquido bolle è anche quella alla quale la tensione massima del suo vapore fa equilibrio alla pressione della colonna barometrica o dell'atmosfera, intendiamo facilmente come il fenomeno avvenga. Prima di bollire, il liquido riscaldato s'evapora, fuma, e in questo caso il vapore non si forma che alla superficie, e già sappiamo in qual modo l'evaporazione si fa. Ma perchè il vapore si sollevi dal fondo e dall'interno della massa liquida è certo che la sua forza elastica deve equivalere alla pressione o peso della colonna liquida che gli sta sopra, e più al peso dell'atmosfera. In generale la colonna liquida che si fa bollire non è molto alta: se però si prendesse un tubo, alto 32 piedi, p. es., e pieno di acqua, si vedrebbe che al fondo il vapore non può formarsi, e che il liquido non può bollire, senza che la sua temperatura sia quella alla quale corrisponde, nel vapore che si produce, una forza elastica di due atmosfere.

Poichè dunque l'ebullizione non è altra cosa che l'equilibrio fra la forza elastica del vapore e la pressione atmosferica, è naturale che vi sieno tante temperature o punti d'ebullizione, quante sono le pressioni che si possono concepire. Avete visto l'acqua bollire nel vuoto della macchina pneumatica a 0°, e perciò basta che la forza elastica dell'aria sia ridotta al peso di una colonna di mercurio alta 5mm; è questa la tensione del vapore a 0°. Ecco perchè l'acqua bolle a delle temperature tanto più basse, quanto più si sale nell'alto dell'atmosfera. Quando si gradua il termometro e si vuol segnare il 100°, conviene assicurarsi che la pressione atmosferica sia precisamente di 760mm, o correggere l'errore che viene dalla diversa pressione nel grado di temperatura dell'ebullizione.

Niente di più facile che alzare il punto di temperatura dell'ebullizione di un liquido, o abbassarlo. Eccovi (*Fig.* 42) un matraccio *a* quasi pieno d'acqua, che riscaldo all'ebullizione. Quando questa avviene, chiudo il tubo del matraccio con un turacciolo *b*, e per esser più certo che il vapore non esca, rivolto in basso il tubo stesso. Il liquido cessa di bollire perchè la sua temperatura si è un poco abbassata, e principalmente perchè lo spazio che rimane sopra il liquido è pieno di vapor acqueo, essendone stata discacciata l'aria. Se verso un poco d'acqua fredda sopra il matraccio, il vapore si condensa, cessa la sua pressione sul liquido, e il liquido bolle all'istante.

Per ritardare il punto dell'ebullizione basterà di riscaldare il liquido contenuto in un recipiente chiuso esattamente, e di cui le pareti abbiano una grande resistenza. Il vapore che si forma alle diverse temperature e che non si dissipa, ma rimane invece sopra il liquido, lo preme con una forza elastica sempre sufficiente ad impedirne l'ebullizione. Non v'è più in tal modo calorico reso latente, la temperatura del liquido sale successivamente. Questa elevazione di temperatura, senza che il liquido bolla, non è però illimitata. Ricordatevi le esperienze di Cagniard de la Tour: la densità del vapore cresce colla forza elastica; ed a temperature molto alte, il vapore può esser tanto denso quanto lo è il liquido da cui è prodotto. A questo punto il tubo in cui è il liquido riscaldato, sembra vuoto di liquido. Così l'acqua a 180° si converte in vapore, occupando col suo volume il doppio di quello che occupa allo stato liquido. È inutile che vi faccia osservare che sono grandissime le forze elastiche che ha il vapore a queste temperature: a 150° la forza elastica del vapore è di 70 atmosfere. Questo numero vi provi quanto devono esser resistenti le pareti dei recipienti in cui si forma il vapore a questa temperatura.

La così detta pentola di Papin (*Fig.* 70) è un recipiente metallico a pareti grosse, di cui il coperchio è applicato con una forte e resistente compressione per mezzo di una specie di mascella A B, a cui è unita l'asta M che vi si muove a vite e che va a fissarsi contro il coperchio. Con questo apparecchio si ottiene una temperatura molto alta nel liquido che contiene. Ecco perchè le ossa vi si ammolliscono in pochi minuti, la carne v'è presto cotta. In questa pentola di Papin, e in generale in tutte le caldaie chiuse, in cui il vapore si forma ad una temperatura superiore a 100°, v'è un apparecchio assai importante il quale regola a volontà la temperatura a cui si può far salire il liquido e quindi la sua forza elastica. Quest'apparecchio è la così detta *valvula di sicurezza*. Immaginatevi un piccolo foro nel coperchio della caldaia, che abbia, p. es., un centimetro quadrato di superficie. Sappiamo dalle tavole riportate, quale è la pressione che il vapore esercita sopra la superficie di un centimetro quadrato nelle diverse temperature a cui si forma. Se si vuole che il liquido della caldaia non oltrepassi una certa temperatura e che il suo vapore non superi una certa tensione, basterà di applicare sul foro fatto nel coperchio della caldaia un peso alquanto minore o eguale a quello che equivale alla pressione che il vapore a quella temperatura esercita sopra un centimetro quadrato. In tal caso, se si eleva la temperatura oltre il grado voluto, la

forza elastica del vapore vince il peso, lo discaccia, e il foro si apre. In questo modo la caldaia diviene un vaso aperto, in cui l'acqua bolle a 100°. Ecco perchè questo apparecchio si dice *valvula di sicurezza*. Per variare i pesi che si applicano sul foro della caldaia si usa un braccio *a* (*Fig.* 60) di leva, per cui basta di allontanare più o meno il peso o marco, perchè cresca la pressione sul foro. Non crediate però che basti un foro piccolo quanto si vuole per rimettere la caldaia al caso di un vaso aperto. V'è un rapporto fra la superficie del foro e quella del liquido a contatto del fuoco, da cui dipende il punto dell'ebullizione. Basta che il foro sia $1/_{1000}$ della superficie riscaldata, perchè l'acqua bolla a 100° : ma se è meno, se è $1/_{5000}$, bolle a 105°; se è $1/_{10000}$, l'acqua bolle a 115° e per $1/_{20000}$ l'ebullizione accade a 138°. È curioso a notarsi, che la quantità del vapore in 1' che esce lu questi orifizi, supposti sempre più piccoli, sembra essere per tutti la stessa.

Si sono immaginate altre valvule di sicurezza : v'è chi ha adoperato una lastra metallica, formata di una lega di vari metalli che fonde a una temperatura non molto alta, per chiudere l'orifizio della caldaia. Quando il vapore a contatto del coperchio e della lastra ha una temperatura alla quale quella lega si fonde, l'orifizio si apre, ed il vapore esce. Si può anche sostituire alla lega una lastra metallica molto sottile, che si rompe per una certa forza elastica del vapore.

Non posso però lasciarvi ignorare che a malgrado queste diverse valvule di sicurezza, avvengono disgraziatamente con qualche frequenza, rotture, sempre fatali, di caldaie a vapore. Le cagioni di queste rotture sono di certo molte, e non ancora ben determinate. Una delle principali è l'abbassamento del livello dell'acqua nella caldaia. Per questo abbassamento una porzione della caldaia rimane esposta all'azione diretta della fiamma e non essendo a contatto del liquido a cui cedere il suo calore, giunge ad altissime temperature e può divenir rossa come lo è un ferro che sia fra i carboni accesi. Quando la caldaia è in questo stato, se la valvula s'apre, è quasi certa la rottura della caldaia. All' aprirsi della valvula, il liquido entra subito in ebullizione, ed una porzione di questo è sollevata dal movimento della ebullizione o va a toccare la parete tanto calda della caldaia. La quantità del vapore che in questo contatto si forma è tanta, la sua forza elastica è così grande, che difficilmente la caldaia resiste a questa eccedente pressione. Un' altra cagione di esplosione si suol trovare nello strato calcare, che si forma e aderisce al fondo della caldaia. Le acque naturali ordinariamente contengono sciolto il carbonato calcare ed il solfato, e questi sali per l'ebullizione precipitano al fondo. Quando questo strato è divenuto molto grosso, il metallo della caldaia non tocca più il liquido, e non può cedergli per conseguenza il calore che riceve dal fornello: la sua temperatura s'innalza quindi grandemente; e allora avviene che la crosta si rompe e l'acqua vada a toccare il metallo della caldaia tanto riscaldato, si fa uno svolgimento grande e rapidissimo di vapore, come nell'altro caso. Alla prima cagione di esplosione si pone riparo coi mezzi di alimentazione della caldaia disposti in modo, da mantenervi l'acqua ad un livello costante : alla seconda si rimedia visitando spesso la caldaia, dissolvendo con una soluzione acida lo strato calcare o tenendo delle patate nell'acqua. Pare che sopra le patate ridotte in polpa dall'acqua calda, si precipiti, piuttosto che sul fondo, il carbonato calcare.

Malgrado tutte queste cure vi sono esempi d'esplosioni : ignoriamo ancora tutte le cagioni che possono determinare in una caldaia uno svolgimento di vapore straordinariamente grande. Questa quantità di vapore, che è, nelle caldaie in cui si forma sotto la pressione di 4 a 5 atmosfere, e ciò col fuoco il più forte che possa farsi, di 2 a 3 chilogrammi in un minuto per ogni metro quadrato di superficie della caldaia *esposta al calore*, può in qualche circostanza accrescersi grandemente, ed è allora che l'esplosione avviene. Di rado ciò accade in quelle caldaie in cui il vapore si forma ad una pressione eguale a quella dell'atmosfera, e in cui per maggiore economia del combustibile, la caldaia è disposta in modo da non potere ottenere che $^2/_3$ di chilogrammo di vapore in un minuto per ogni metro quadrato della intera superficie della caldaia. In queste seconde caldaie il liquido è molto profondo, mentre nelle prime è poco profondo, ed è molta la superficie direttamente scaldata. Sono in quest'ultimo caso i *generatori* della macchina a vapore di Perkins, che consistono in piccoli cilindri che stanno in mezzo alle fiamme e in cui s'inietta acqua calda.

Devo ancora esaminare alcune altre circostanze, che quantunque in minor grado di quelle di cui si è parlato influiscono sulla temperatura dell' ebullizione di un liquido. Se un liquido è molto denso, se v'è molta coesione fra le sue parti, se l'adesione fra il liquido e la materia del recipiente è molta, la temperatura dell' ebullizione è sensibilmente più alta di

100°. Così nel vetro l'acqua bolle più difficilmente che in un vaso metallico. Qualunque corpo solido introdotto nel liquido, alcuni pezzetti di metallo, favoriscono l'ebullizione: si vede il vapore formarsi e salire dai corpicciuoli introdotti. Questa coesione o viscosità del liquido, la sua adesione col vaso, la profondità del liquido, producono l'irregolarità dell'ebullizione e quei *soprassalti*, che sono specie di esplosioni. Di tanto in tanto una grande quantità di vapore si forma, che solleva la massa liquida e il recipiente stesso. La temperatura s'innalza, per le suddette cagioni, nei liquidi che è in basso, ed avviene in questo caso quello che accade nella pentola di Papin, quando la valvula s'apre. Basta un filo di metallo, di platino, nel liquido perchè l'ebullizione divenga regolare. In tutti i casi la temperatura del liquido al fondo è sempre più alta da principio di quella del liquido stesso alla superficie: ed ecco perchè il vapore che si solleva dal basso, viene sulle prime a condensarsi di sopra. Si veggono in fatti, prima che l'ebullizione cominci, sollevarsi delle grosse bolle di vapore che non giungono alla superficie. Questa condensazione è quella che produce il noto rumore dell'acqua poco prima che bolla.

Anche le sostanze aggiunte all'acqua fanno variare il punto della sua ebullizione. Se queste sostanze vi stanno sospese, nulla fanno: è necessario che vi sieno combinate chimicamente. In generale tutti i corpi solidi solubili nell'acqua, i liquidi che bollono ad una temperatura più alta dell'acqua stessa, ritardano il punto dell'ebullizione. È tanto più curiosa questa influenza per i corpi solidi solubili, che il vapore che si forma è affatto puro. Tuttavia la temperatura del vapore formato sopra i liquidi che bollono alle diverse temperature per cagione dei corpi disciolti, è sempre di 100°. Se il liquido mescolato all'acqua bolle più presto dell'acque, il punto dell'ebullizione è abbassato, ed il vapore che si forma è un miscuglio dei vapori dei due liquidi.

Finalmente vò mostrarvi un fenomeno curioso che presentano alcuni liquidi a contatto di una superficie metallica riscaldata ad un'alta temperatura. Eccovi un crogiuolo di platino molto riscaldato: vi fo cadere alcune gocce d'acqua, e queste invece di ridursi rapidamente in vapore, si fanno rotonde come le gocce del mercurio e sembrano in perfetto riposo, o al più girano rapidamente intorno a loro stesse, e intanto appena diminuiscono di volume. Basta di togliere il crogiuolo dal fuoco, perchè poco dopo, quando la temperatura s'è abbassata, si vegga il liquido bollire con violenza. Se v'era un poco d'alcali o di un sale nell'acqua, il fenomeno non accade. Questo fatto si verifica anche sopra grandi masse di liquido; e basta di aggiunger le gocce liquide con pazienza e di tener sempre caldo il crogiuolo, perchè la massa liquida possa accrescersi. Per spiegare questo fatto si è detto che il calore dovuto ad una così alta temperatura, traversa il liquido senza scaldarlo; ammessa anche questa più facile trasmissione, è difficile d'intendere che l'acqua non debba riscaldarsi sino a 100°. È forse meno improbabile di supporre, che nel contatto del liquido colla superficie metallica tanto riscaldata, si formi uno strato permanente di vapore che tiene sollevata la goccia. Che infatti questo contatto non vi sia, è provato da un'ingegnosa esperienza che Poggendorf ha fatta recentemente. Una corrente elettrica trasmessa attraverso alla goccia liquida che si trova a contatto del metallo riscaldato per mezzo del metallo stesso, non passa, allorquando il liquido presenta il fenomeno che v'ho mostrato.

Non posso abbandonare questo soggetto senza dirvi una parola delle più importanti applicazioni che si sono fatte delle proprietà del vapore acqueo. I limiti di questo corso non mi permettono di trattarne con quella estensione che meritano: ve ne dirò abbastanza, perchè interamente nuova non vi giunga una macchina a vapore.

Padroni di dare alla forza elastica del vapore tutta l'intensità che si desidera, di svilupparla in qualunque luogo, di stabilirla sopra quelle stesse macchine che può mettere in moto, è naturale che essa diventi la più potente che si possegga dall'uomo, e che compia quelle grandi rivoluzioni economiche alle quali appena cominciamo ad assistere. Veggiamo prima come possa calcolarsi la forze del vapore. Immaginate un cilindro metallico (*Fig.* 29) M N P Q esattamente chiuso, e nel cui interno scorra uno stantuffo di cui l'asta si muova entro una scatola piena di dischi di cuolo, *botte à étoupes*, fissata nella parte superiore del cilindro. Supponiamo che il vapore sia prodotto ad una certa temperatura da una caldaia chiusa da cui passi per un tubo, o sotto lo stantuffo o sopra: sia tale la temperatura e la capacità del cilindro, che il vapore possa giungervi nel cilindro stesso colla forza elastica con cui si forma. La forza elastica del vapore a 100° esercita sopra un centimetro quadrato di superficie una pressione misurata in peso da 1 *chil.*,033; per cui supponendo che nel nostro esempio abbia la forza elastica di 3 1/2 atmosfere, la pressione sopra un centimetro quadrato sarà 1*chil.*,033 $\times$ 3 1/2 = 3 *chil.*, 6155.

Se lo stantuffo ha 80 centimetri di diametro, la sua superficie sarà
$3,1416 \times (40)^2 = 5026,56$ centimetri quadrati, per cui la pressione totale è eguale a $5026,56 \times 3$*chil.*, $6155 = 18174$*chil.* Un peso, una resistenza qualunque misurata da 18174*chil.* applicata all'estremità A dell'asta dello stantuffo, potrà dunque esser vinta dal vapore a 3 1/2 atmosfere. La quantità di lavoro che questo vapore produrrà, sarà perciò misurata dallo spazio che lo stantuffo percorrerà, o dalla lunghezza della sua corsa, moltiplicata per 18174. Prendendo l'asta dello stantuffo lunga 0m, 32, si avrà 18174*chil.* $\times$ 0m,32 = 5816*chil.* In questo calcolo ho supposto che nella corsa di 0m, 32 fatta dallo stantuffo, rimanga il vapore ad una tensione costante: se percorso questo spazio è chiusa la comunicazione del vapore colla caldaia, il vapore si dilaterà finchè la tromba lo permette, e nel suo dilatarsi seguirà a muovere lo stantuffo. In questa azione il vapore agirà come un gas; si dilaterà diminuendo di forza elastica.

Per calcolare questa seconda parte dell'effetto o lavoro utile della macchina a vapore, si considera generalmente la sua forza elastica eguale al prodotto della media delle pressioni estreme per lo spazio percorso dallo stantuffo durante la dilatazione. Questa seconda parte deve aggiungersi all'effetto della macchina prima che il vapore si dilati, per avere l'effetto totale. Qualora si supponga, nell'esempio preso, che il vapore nel dilatarsi occupi uno spazio 4 1/2 maggiore del suo primitivo volume, si dovranno aggiungere 12439*chil.* per l'effetto prodotto nel dilatarsi.

Nelle prime macchine a vapore che furono immaginate, il vapore a 100° sollevava lo stantuffo, poi con un getto d'acqua fredda veniva condensato, ed allora la pressione atmosferica lo faceva scendere, e così continuava ad agire. Questo metodo porta di necessità un grande consumo di vapore: una gran parte di questo si condensa a contatto delle pareti fredde del cilindro allorchè è introdotto dopo la discesa dello stantuffo. Il celebre Watt, che è il vero inventore della macchina a vapore, immaginò di mandare il vapore ora sopra ora sotto lo stantuffo, e di fare corrispondentemente la condensazione del vapore in un recipiente separato. Perciò si fa entrare il vapore della caldaia pel tubo *a b*, e si presenta in questo punto ad una scatola circolare in cui sboccano i due tubi *c d* ed *e f* destinati a condurlo or sotto or sopra lo stantuffo, e un altro tubo *g K* che comunica col recipiente *y x*. La scatola K è una specie di *robinet*, che secondo la sua posizione ora fa comunicare il tubo *a b* con *c d*, ora chiude questa comunicazione ed apre quella di *a b* con *e f*. Quando la comunicazione di *a b* con *c d* è chiusa, s'apre quella di *c d* con *g h*; ed al contrario quando *a b* ed *e f* non comunicano, comunicano invece *e f* e *g h*. Nel primo caso entra il vapore sotto lo stantuffo, ed esce pel tubo *g h* il vapore che sta di sopra: nell'altro il vapore entra sopra, ed esce il vapore che sta sotto lo stantuffo.

Il recipiente *x y z t* è il condensatore nel quale si trova una tromba aspirante ordinaria che si muove insieme alla leva o bilanciere A B, che il vapore alza o abbassa: questo recipiente comunica con un altro *m p q n* chiuso che contiene acqua fredda. Il vapore che è spinto fuori dal cilindro è condensato, a mano a mano che entra nel condensatore, da una pioggia d'acqua fredda che esce dal vaso *m p q n*. Invece di lasciare aperto il *robinet* per tutta la corsa dello stantuffo, si chiude prima, venendo in tal guisa il rimanente della corsa eseguita dalla dilatazione o *détente* del vapore.

La macchina di Watt, che ho descritto in un modo molto imperfetto, è quella che dicesi *a doppio effetto*, perchè il vapore agisca sotto e sopra lo stantuffo.

Il movimento di ascensione e di discesa che il vapore produce nell'asta dello stantuffo e che è comunicato al bilanciere è convertito in un moto circolare, ed allora è applicato ai diversi usi.

Si adoperano delle macchine nelle quali il vapore è prodotto con una forza elastica di molte atmosfere; e in questo caso è inutile il condensatore, conservando il vapore, dopo che ha sollevato lo stantuffo, tanta forza, da escire nell'atmosfera. In questo modo si fa di meno del condensatore, e le dimensioni della macchina sono assai impiccolite. Sono queste le macchine ad alta pressione che si adoperano specialmente per le carrozze. In queste il vapore, dopo di avere agito sopra lo stantuffo, è cacciato nel tubo che porta il fumo, e serve ad aumentare l'attività del fornello.

Un'altra importante applicazione del vapore è quella fatta per riscaldare. Già sappiamo che 1*chil.* di vapore a 100° assorbe nel formarsi e restituisce facendosi liquido, tanta calore, da far innalzare un egual peso d'acqua da 100° a 531°: e quindi da scaldare a 100° un peso di 5*chil.*,31. Per cui un chilogrammo di vapore fatto liquido in mezzo a 5,3 chilogrammi d'acqua, produrrà 6,3 chilogrammi a 100°. Questo modo di riscaldamento è utile in moltissimi casi, per esser certi di non innalzare la temperatura oltre un certo grado. Oltre di che si può, col mezzo di tubi, spingere il vapore a

grandi distanze o portarvi così il riscaldamento. Una sola caldaia a vapore basta a scaldarne molte altre, e possono essere ora le une, ora le altre in attività. I recipienti riscaldati possono esser di legno o di materiale. Bastino questi brevissimi cenni a mostrarvi di quanta importanza sia il nuovo motore che Watt, per il primo, ci ha insegnato ad adoperare utilmente: siamo anche ben lontani dall'averne ottenuti tutti i possibili risultati, nè li sappiamo prevedere. Se v'è speranza di giungere una qualche volta ad ottenere la direzione dei globi areostatici, è forse colla sola macchina a vapore che potrà accadere. E questa l'unica macchina che ci dà una forza molto grande, senza che sia troppo grande il suo peso.

LEZIONE LXXVI.

Calorico specifico. — Misura del calorico specifico dei corpi solidi e liquidi. — Metodo di Lavoisier e Laplace della fusione del ghiaccio. — Metodo del raffreddamento. — Metodo dei miscugli. — Legge del calorico specifico degli atomi dei corpi semplici e dei corpi composti. — Misura del calorico specifico dei gas.

Le variazioni di volume e di stato che il calorico produce nei corpi, sono gli effetti di questo agente, dei quali ci siamo occupati sino ad ora. Quali variazioni di volume avvengono nei diversi corpi nel passare da una temperatura all'altra; con quali leggi queste variazioni si operano rispetto a quelle temperature; a quali temperature succedono i cambiamenti di stato; ecco i diversi soggetti che hanno fissata la nostra attenzione. Parlando delle varie temperature alle quali si operano i cangiamenti che il calore produce, ci siamo ben guardati dal dire che a questi corrispondevano le quantità di calore contenute nei corpi. Allorchè un termometro immerso in un liquido, in mezzo ad un gas a contatto d'un corpo solido, indica una certa temperatura, si deduce da questa indicazione che il calore è in equilibrio fra il termometro e il corpo; giacchè se questo non fosse, non sarebbe stazionaria l'indicaziona del termometro. Devesi ammettere che il termometro ha la stessa temperatura del corpo di cui è a contatto. E se nel portare questo termometro in un altro corpo o nel variare le condizioni di quello in cui già si trova, avviene una variazione nei termometro, si conchiude che è accaduto un cangiamento nel calore appartenente al termometro, e che v'è una differenza fra uno stato calorifico e l'altro. Ma quale è la quantità assoluta di calore che è contenuta in un corpo, quali sono le quantità relative di calore che sono contenute in due corpi a diverse temperature? Non sono queste le quistioni che il termometro possa risolvere. V'è un esempio che vi proverà evidentemente la che consistono le indicazioni del termometro rispetto alle quantità di calore che i corpi contengono. Se s'immerge un termometro in una libbra d'acqua che bolle, e se ne tiene un altro in una massa grandissima d'acqua che è pure in ebullizione, si veggono i due termometri indicare la stessa temperatura. Mi guarderei però dal concludere che vi è nelle due masse d'acqua, tanto diverse, la stessa quantità di calore: ho dovuto di certo aggiungere una quantità ben più grande di calore nella massa maggiore di quella aggiunta alla massa minore, per portarle ambidue alla stessa temperatura. Il calore necessario per cangiare lo stato termometrico è indubitatamente diverso secondo la massa o il volume del corpo riscaldato. Sappiamo ancora che per accrescere la temperatura di una data massa o volume di un corpo, vi si deve aggiungere una nuova quantità di calore. Sono dunque questi due elementi, temperatura cioè e massa o volume di un corpo, di cui si deve tener conto nel ricercare la quantità di calore che è necessaria per determinare in un corpo un certo cangiamento termometrico.

Sarebbe una ricerca affatto vana quella della quantità assoluta di calore che contiene un corpo: si sa che fra un corpo preso alla temperatura più bassa possibile e lo stesso riscaldato quanto più si può, non v'è alcuna differenza di peso. Cerchiamo però d'imparare in quale rapporto stanno fra loro le quantità di calore che determinano in un corpo degli effetti termometrici diversi, e in quale rapporto stanno queste quantità colle varie masse di un corpo. Eccovi in questo recipiente un chilogrammo d'acqua a 0°, ed in quest'altro un eguale peso di acqua a 14°. Mescolo i due liquidi insieme, e trovo che la temperatura del miscuglio è 7°. Se prendo un chilogrammo d'acqua a 20° e un altro a 80° e mescolo insieme i due liquidi, la temperatura del miscuglio è 50°: se i due liquidi avevano uno 50° e l'altro 100°, avrei trovato per la temperatura del miscuglio 75°. Il risultato di queste sperienze è evidente. Una delle masse liquide perde una porzione del suo calore, ed è questa porzione che passa nell'altra massa simile dello stesso liquido; il primo si raffredda, l'altro si ri-

scalda, e in tutti i casi si trova che quella quantità di calore che determina un tal cangiamento termometrico espresso da un certo numero di gradi, è capace di produrre in un'egual massa dello stesso corpo, un cangiamento termometrico, che quantunque appartenente ad un altro punto della scala, è però misurato dallo stesso numero di gradi. Dobbiamo dunque concludere, che quella quantità di calore che perde un chilogrammo di acqua nell' abbassarsi da 14° a 7° è quella stessa che è necessaria per innalzare di un egual numero di gradi, da 0° a 7° un peso eguale dello stesso liquido. Ho supposto sin qui che fossero eguali le masse o i volumi dei liquidi mescolati. Suppongo di mescolare due chilogrammi d'acqua a 0° con un chilogrammo a 14°: di certo non trovo più 7° come prima, ma una che è 1/3 di 14.°. Se avessi adoperato 3 chilogrammi di acqua a 0° e uno a 14°, la temperatura del miscuglio sarebbe stata anche meno di 1/3 di 14°; avrei trovato 1/4 di 14°. In tutti i casi la temperatura del miscuglio si trova sempre eguale alla somma dei prodotti delle masse mescolate per le rispettive temperature, divisa per la somma delle masse stesse. Si esprime questo famoso *principio dei miscugli* in termini generali nel modo seguente: se si mescolano due masse *m* ed *m'* di uno stesso corpo, di un liquido, p. es., che sieno a diverse temperature t° e t'°, e se non v'à cagione estranea che tolga o aggiunga calore al miscuglio la temperatura T di questo miscuglio è

$$T = \frac{m\,t^{o} + m'\,t'^{o}}{m' + m}.$$

Così, quando le masse sono eguali, la temperatura del miscuglio è sempre la metà della somma delle loro temperature. Concludiamo da questo principio stabilito dall' esperienza, che la quantità di calore necessaria a determinare un cangiamento termometrico in un corpo è proporzionale al prodotto della sua massa per il numero dei gradi che esprime questo cangiamento. E poichè il calore che perde l'acqua nell'abbassarsi da 100° a 50° p: es. è capace di alzarne la temperatura di un egual peso di questo liquido da 0° a 50°, dobbiamo ancora ammettere che quella quantità di calore, che è necessaria per innalzare la temperatura dell'acqua di 1°, è costante, qualunque sia la temperatura da cui si parte. Tanto calore è necessario per passare da 0° a 1°, quanto da 99° a 100°. Nell'intervallo da 0° a 100° questa costanza è mostrata dall' esperienza. Devo aggiungere ancora che qualunque sia la sorgente di calore che s'adopera per riscaldar l'acqua o un corpo qualsiasi, purchè si porti in tutti i casi alla stessa temperatura, la quantità di calore che prende per innalzarsi di un certo numero di gradi è in tutti i casi, qualunque sia stato il mezzo con cui fu riscaldato, capace di riscaldare un egual peso d'acqua di uno stesso numero di gradi.

Ho supposto sin qui di operar sempre sopra uno stesso corpo; ho mescolato sempre acqua calda e fredda: il principio dei miscugli che ho stabilito non si verifica più se coll'acqua aggiungo un altro corpo qualunque. Mescolo insieme ed agito un chilogrammo di mercurio a 100° con un chilogrammo d'acqua a 14°: dovrei trovare, se invece di mercurio avessi acqua, o se il mercurio e l'acqua agissero egualmente, 57° per la temperatura T del miscuglio. Infatti $T = \frac{14+100}{2} = 57°$; trovo invece 17.° In questa esperienza la quantità di calore che ha perduto il mercurio per abbassare la sua temperatura da 100° a 17°, perdita misurata da 83°, è passata nell'acqua, di cui però la temperatura non s'è innalzata che di 3.° Quella quantità di calore che fa variare la temperatura dell'acqua di 3°, produce in un'egual massa di mercurio una variazione di 83°. Ecco dunque un terzo elemento, oltre la temperatura e la massa, che entra nel valutare la quantità di calore di un corpo, e che dipende dalla sua natura. È questo elemento che chiamiamo *capacità* per il calore o *calorico specifico* di un corpo, e che significa quella quantità di calore che innalza di 1° la temperatura dell'unità di peso, di un chilogrammo p. es., di un certo corpo. E poichè si è convenuto di prendere per unità del calorico *specifico* o *unità di calore*, quella quantità di calore che innalza di 1° del termometro centigrado la temperatura dell'unità di peso di un chilogrammo d'acqua, ne viene che pel mercurio, stando al risultato dell'esperienza citata, il calorico specifico sarà $^{3}/_{83}$ o, più precisamente, $1/_{30}$. Un chilogrammo d'acqua per innalzarsi di 1°, esige una quantità di calore che è trenta volte maggiore di quella che fa crescere di 1° un peso simile di mercurio. In altri termini; la stessa quantità di calore che produce in un chilogrammo d'acqua un aumento di 1, produce in un chilogrammo di mercurio l'aumento di 30°. Facendo con altri corpi l' esperienza or ora fatta per il mercurio, si troverebbero dei risultati diversi. Un dato peso, 1 chilogrammo dei vari corpi, per innalzarsi di 1°, richiede quantità diverse di calore, e queste quantità diversa sono calcolate riferendole tutte al calorico specifico di un chilogrammo d'acqua, che è preso per unità.

Questo metodo dei miscugli onde determinare il calorico specifico dei corpi, è di certo il più diretto di quanti ne possediamo. S'incorrerebbe però in gravissimi errori, trascurando le molte e minute cautele che dimanda nell'applicazione. Il maggiore di questi errori verrebbe dal trascurare l'abbassamento di temperatura del miscuglio che è prodotto dal calore che si comunica al recipiente in cui è fatto. Per correggere questo errore, basta di determinare precedentemente di quanto s'abbassa la temperatura di un dato peso d'acqua ad una certa temperatura a contatto del vaso che ha una temperatura più bassa dell'acqua. Suppongo che la temperatura dell'acqua sia 15°, e 10° quella dell'ambiente: lasciando il recipiente per un certo tempo alla temperatura di 10° e poi versandovi l'acqua a 15°, si nota l'abbassamento di temperatura che vi succede. Una semplice proporzione darà lo abbassamento di temperatura che accadrebbe nell'acqua a contatto del vetro presa ad un'altra temperatura. Così, se si trovasse 14 per la temperatura del miscuglio, si dovrebbe ritenere che questa temperatura è realmente 15° o un altro numero più o meno grande, secondo che è più o meno d'uno o uno, il grado di temperatura che perde l'acqua a 15° a contatto del vetro. Si può fare ancora questa correzione facendo prendere prima al recipiente quella stessa temperatura, che il miscuglio ha preso in una prima esperienza, e ritentando poi coi vaso così riscaldato la stessa esperienza. La perdita di calore prodotta dal vaso sarà in questo modo diminuita, e potrà considerarsi nulla rinnovando più volte l'esperienza, e avendo cura di riscaldar sempre prima il recipiente alla temperatura presa dai miscuglio in una precedente esperienza. Per la maggior precisione dei risultati ottenuti col metodo dei miscugli, è necessario di avere un termometro che dia i centesimi di grado. Regnault ha recentemente adoperato il metodo dei miscugli; ed i suoi risultati, d'accordo con quelli dedotti con altri processi de Dulong e Petit, provano che quando sia applicato convenientemente, può meritare tutta la fiducia.

Può anche determinarsi il calorico specifico dei corpi prendendo per misura della quantità di calore di un corpo, la quantità di ghiaccio che fonde nel passare da una certa temperatura a quella del ghiaccio. Già sappiamo che per la fusione del ghiaccio si richiede una quantità di calore che è interamente assorbita; deve perciò questa quantità esser proporzionale a quella del ghiaccio che fonde. Supponiamo di prendere dei pesi eguali di tutti i corpi, di riscaldarli alla stessa temperatura, e di metterli poi ad uno ad uno in una cavità formata in un grosso pezzo di ghiaccio. Prenderanno questi corpi tutto il calore che contengono a quella temperatura che hanno sopra zero, ed è certo che le quantità di ghiaccio che hanno fuso saranno proporzionali alle loro capacità per il calorico. Poichè un chilogrammo d'acqua a 75° fonde un chilogrammo di ghiaccio, e produce così due chilogrammi di acqua a 0°, se ne deve concludere che per fondere questo peso, ci vogliono quelle 75 unità di calore che l'acqua cede passando da 75° a 0°. Se si conosce il peso P del ghiaccio che è fuso da una massa m di un corpo alla temperatura t, di cui è c il calorico specifico, tutto il calore che perde da t a o, e che è eguale a $m\,t\,c$, sarà rappresentato da 75 P, ne cui $c = \frac{75\ P}{m\,t}$.

Laplace e Lavoisier immaginarono un apparecchio fondato sopra questo principio, onde determinare il calorico specifico. Consiste il calorimetro (*Fig.*22) in tre involucri metallici concentrici I M, E F G H e A B C D muniti di due coperchi corrispondenti. Vi sono due *robinet* O ed S, per mezzo dei quali si fa uscire l'acqua formata separatamente nei due recipienti. A B C D è un vaso di rete metallica: s'empie tutto di ghiaccio triturato e poi vi s'introduce il corpo, riscaldato ad una certa temperatura. Finita l'esperienza si raccoglie l'acqua fusa aprendo il *robinet* O, e si pesa. Il recipiente esterno ed il coperchio corrispondente si empiono di ghiaccio, e in questo modo servono od impedire che il calore esterno penetri, e a mantenerne a 0° la temperatura. Si rimprovera a questo metodo di esigere quantità troppo grandi di quei corpi che si vogliono sperimentare.

Aggiungerò ancora, che Dulong e Petit si sono serviti del *metodo* del *raffreddamento* inventato da Mayer per dedurre il calorico specifico dei corpi. Consiste questo processo nel paragonare il tempo diverso che impiegano i vari corpi, raffreddandosi in uno spazio vuoto, per perdere uno stesso numero di gradi di temperatura. È chiaro che per ognuno di questi corpi devono essere eguali tutte le circostanze che vedremo influire sul raffreddamento, e che la sola differenza deve appunto consistere nella natura diversa dei corpi, da cui dipende la capacità per il calore.

Questi tre diversi metodi hanno condotto a due leggi generali molto importanti. La prima di queste è, che mentre la capacità dei corpi solidi e liquidi è costante da 0° a 100°, cessa di esserlo a temperature più e-

levate; e benchè per i diversi corpi cresca con una legge diversa, è però costante cha per tutti cresce colla temperatura. Quella quantità di calore che innalza di 1° la temperatura di un corpo nell'intervallo da 0° a 100°, non basta, prendendo delle temperature più elevate. Così, per il ferro, Dulong e Petit hanno trovato che la capacità pel calore era:

0,1098 da 0° a 100°
0,1150 da 0° a 200°
0,1218 da 0° a 300°
0,1255 da 0° a 350°

Sembra naturale che vi sia questo aumento di capacità. La dilatazione, che è il primo effetto prodotto nei corpi dal calore, non può accadere senza un assorbimento di calore maggiore di quello che è necessario per la sola variazione di temperatura. Vedremo che per i gas questa differenza è manifesta. Sappiamo pure che i diversi corpi solidi e liquidi si dilatano disegualmente per la stesse variazioni di temperatura: queste diseguali dilatazioni devono portare una differenza in quella porzione di calorico specifico che varia colla dilatazione. Il *calorico specifico* di dilatazione deve necessariamente crescere, quando si prendono i corpi a temperature molto elevate e quindi più vicina ai punti di cangiamento di stato.

L'altra legge importante è quella scoperta da Dulong e Petit, dell'eguaglianza del calorico specifico degli atomi dai corpi semplici. Se si prenda il calorico specifico di un corpo semplice, che è la quantità di calore che riscalda di 1° l'unità di peso di quel corpo, e si cerca qual'è questa quantità di calore per un peso espresso dal peso atomistico del corpo, si avrà quel numero che chiamasi il calorico specifico dell'atomo: non è altro, in una parola, che il prodotto del peso dell'atomo di un corpo per il suo calorico specifico. Questo prodotto si trova sensibilmente eguale per tutti i corpi semplici. S'esprime ancora questa legge dicendo cha i calorici specifici dai corpi sono in ragione inversa dei pesi atomistici; e poichè in uno stesso peso i corpi contengono un numero di atomi che è in ragione inversa del peso di questi atomi, ne segue che la capacità o i calorici specifici degli atomi sono eguali fra loro. Questa legge risulta dalla seguente tavola.

CORPI	CALORICI SPECIFICI c	PESI ATOMISTICI a	CALORICI SPECIFICI *degli atomi* c a
Bismuto	0,0288	13,30	0,3830
Piombo	0,0293	12,95	0,3794
Oro.	0,0298	12,43	0,3704
Platino	0,0314	11,16	0,3740
Stagno.	0,0514	7,35	0,3779
Argento	0,0557	6,75	0,3759
Zinco	0,0927	4,03	0,3736
Rame	0,0949	3,957	0,3755
Nichel.	0,1035	3,69	0,3819
Ferro	0,1100	3,392	0,3731
Cobalto	0,1498	2,46	0,3685
Solfo	0,1880	2,011	0,3780

I numeri della terza colonna sono i prodotti dei numeri delle due prime, e si deducono con una semplice proporzione. Se 0,0288 è il calorico specifico del bismuto, ossia la quantità di calore che riscalda l'unità di peso di questo corpo di 1°, chiamata 1 la quantità di calore che riscalda di 1° la stessa unità di peso dell'acqua, quale sarà questa quantità di calore per 13,30, che è il peso dell'atomo del bismuto?

$1 : 0,0288 :: 13,30 : x = 0,0288 \times 13,30.$

Regnault, che ha confermata la legge di Dulong e Petit, l'ha estesa ai corpi composti, ed ha stabilito che per tutti quei corpi composti che hanno la stessa composizione atomistica e che sono di una composizione chimica simile, i calorici specifici sono in ragione inversa del loro pesi atomistici. È questa la formola più generale con cui può esprimersi il rapporto fra gli atomi ed il ca-

lore: essa comprende la legge di Dulong e Petit del calorico specifico degli atomi dei corpi semplici.

Ecco uno dei più grandi risultati della Fisica moderna: quelle masse ponderabili fra le quali avvengono costantemente le combinazioni chimiche, che i Chimici furono perciò costretti ad immaginare costanti, inseparabili, si presentano con un carattere fisico determinato. V'è fra queste ed il calore che assorbono per produrre un dato cangiamento di temperatura nei corpi che compongono, un rapporto invariabile.

I calorici specifici dei gas offrono una nuova conferma alla legge di Dulong e Petit. I calorici specifici dei fluidi elastici sono presi, non più per un peso costante di gas ma per un volume costante e sotto una data pressione. Si paragonano cioè, le quantità di calore che sono necessarie per innalzare di 1° la temperatura di volumi eguali dei diversi gas, presi tutti sotto la stessa pressione. Questo diverso punto di vista sotto cui si considera la capacità calorifica dei gas, è richiesto dalla natura di questi corpi. Tutte le proprietà fisiche dei gas, già l'abbiamo visto, seguono delle leggi identiche e molto semplici, se sono riferite a volumi eguali di questi fluidi. Oltre di che, determinando la capacità dei gas per uno stesso volume, si viene a scoprire se la legge di Dulong e Petit è applicabile ai gas semplici.

È necessario però che vi faccia considerare, che riferendo il calorico specifico dei gas al loro volume, conviene distinguerlo secondo che si considera costante o no la pressione a cui è soggetto. La quantità di calore che accresce di 1° la temperatura di un dato volume di un gas è diversa, secondo che si suppone che il gas si dilati nel crescere di 1°, e in questo modo conservi la stessa forza elastica o rimanga soggetto alla stessa pressione, oppure se s'immagina che il gas si trovi in un recipiente di capacità invariabile, per cui debba crescere la sua forza elastica o la pressione a cui è sottoposto. Noi vedremo che un gas non può venire compresso senza che s'innalzi la sua temperatura, nè può rarefarsi senza che si raffreddi: la compressione sviluppa calore, la rarefazione ne assorbe. Ecco perchè il calorico specifico a pressione costante ed a volume variabile, supera quello a volume costante ed a pressione variabile. Un volume di un gas che si dilata di $1/_{267}$ per la variazione di 1° della sua temperatura, assorbe quella quantità di calore che svolgerebbe comprimendolo rapidamente di questa stessa frazione nel suo volume, per ridurlo al volume primitivo.

Noi vedremo più innanzi che è possibile di determinare quali variazioni di temperatura sono prodotte dalla compressione o rarefazione di un dato volume di un gas: è quindi possibile di dedurre una delle capacità dall'altra, conoscendosi la differenza, che è quella del calore sviluppato nella compressione di un fluido elastico. Qualunque delle due capacità specifiche sia conosciuta, lo è anche l'altra per conseguenza. Ecco come s'esprima questo rapporto delle due capacità. S'abbia una massa m d'aria alla temperatura t: si accresca la sua temperatura a t_1, e sia d l'aumento di volume che soffra per conservare la stessa forza elastica. La sua capacità a pressione e a forza elastica costante sia C: la quantità di calore che questo gas riceve è $m\,C\,t_1$. Supponiamo ora di voler ridurre questo gas dilatato al suo primitivo volume, e di aggiungere perciò la pressione corrispondente, secondo la legge di Mariotte, all'aumento di volume che ha subito. Sia t_2 l'aumento di temperatura che riceve per questa compressione. È chiaro che questa massa d'aria, per ritornare alla temperatura t primitiva, dovrà perdere $t_1 + t_2$, per cui rappresentando con C' la sua capacità a volume costante, dovrà perdere una quantità di calore espressa da $C'\,m\,(t_1 + t_2)$. E poichè ammettiamo che l'esperienza si faccia senza che si disperda calore, è certo che il calore ricevuto $m\,C\,t_1$ dovrà essere eguale al calore perduto

$$C'm\,(t_1 + t_2),\quad \text{da cui}\quad \frac{C}{C'} = 1 + \frac{t_2}{t^1}$$

Da ciò si deduce, che la capacità a pressione costante è maggiore di quella a volume costante, e da ciò la possibilità nota l'una di conoscere l'altra, quando si sappia la quantità di calore che svolge un gas per la sua compressione.

Ricordatevi della formola che dà la velocità del suono nell'aria, e della correzione che Laplace introdusse nella formola di Newton per metter d'accordo la teoria coll'osservazione. Questa correzione consisteva nel moltiplicare la velocità teoretica per la radice quadrata del rapporto $\frac{C}{C'}$ del calorico specifico dell'aria a pressione costante a quello a volume costante. E poichè questa correzione sussiste per la velocità del suono qualunque sia il gas in cui si trasmette, può giungersi a conoscere uno di questi due termini C o C', una volta che se ne conosca uno, e che sia determinata la velocità del suono nell'aria o in quei gas di cui si cerca uno dei due termini C o C'. Dulong, in un lavoro che è un vero modello di pazienza a di sagacità, ha determinato la velocità del

suono nei diversi gas facendo suonare un tubo sonoro ora con una corrente d'idrogene, ora con quella d'un altro gas. Da questa velocità ha dedotto il rapporto delle due capacità $\frac{C}{C'}$. Questo rapporto $\frac{C}{C'}$ è eguale, per le sperienze di Dulong, a 1,411.

Da tale rapporto si deduce la capacità a volume costante, quando sia determinata quella a pressione costante. Per questa determinazione Delaroche e Bérard facevano circolare in un serpentino una corrente di un gas con una velocità conosciuta, riscaldato ad una certa temperatura. Questo serpentino era circondato da una massa conosciuta di acqua, di cui era nota la temperatura che aveva al principio dell'esperienza. Questo metodo si fonda sul principio dei miscugli: l'apparecchio è il calorimetro di Rumford (*Fig.* 50). Il gas dopo aver traversato un tubo riscaldato costantemente a 100° da una corrente di vapore aqueo che lo circonda, entra per il tubo P Q, scorre pel serpentino, cede all'acqua il suo calore. Un termometro segna questo riscaldamento: un altro termometro indica la temperatura del gas che esce. La velocità costante della corrente è ottenuta per mezzo di un gazometro: si sa così il volume del gas che ha traversato il serpentino, e non vi è più che un calcolo facile per determinare il calorico specifico dell'aria o di un gas qualunque rispetto all'acqua. V'è però una correzione da fare; il calorimetro riscaldato dal passaggio del gas caldo, perde un poco del suo calore cedendolo allo spazio e ai corpi che lo circondano. Rumford ha immaginato, per correggere questo errore, di cominciare l'esperienza facendo in modo che il calorimetro abbia una temperatura più bassa di quella dell'ambiente d'uno stesso numero di gradi, di cui la supera alla fine dell'esperienza. Perde così quello che prima ha ricevuto.

Delaroche e Bérard immaginarono ancora un altro metodo per determinare i calorici specifici dei gas a pressione costante. Essi facevano nel serpentino una corrente moderata di gas riscaldato sinchè la temperatura del calorimetro era divenuta stazionaria. Questo stato d'equilibrio si verifica, quando la quantità di calore che il gas cede nell'unità di tempo, è eguale a quella che il calorimetro perde all'esterno, la quale, per la legge del raffreddamento si vedrà essere proporzionale all'eccesso della temperatura del calorimetro sopra quella dei corpi circostanti. Vedremo più innanzi, che un corpo che si raffredda per avere una temperatura più alta di quella dello spazio in cui si trova, perde una quantità di calore tanto più grande, quanto più è maggiore l'eccesso della sua temperatura sopra quella dello spazio. Un corpo caldo s'abbassa rapidamente nei primi istanti, e poi vien sempre raffreddandosi più lentamente. Ecco perchè a misura che la temperatura del calorimetro s'innalza per il calore che gli comunica il gas, la sua perdita all'esterno si fa maggiore, e diminuendo invece sempre quella che riceve dal gas, deve giungere ad un *massimo* la sua temperatura. È necessario che la corrente del gas sia moderata, perchè potrebbe la temperatura del calorimetro arrivare a quella a cui è riscaldato il gas e quindi per tutti i gas trovarsi la stessa *massima* temperatura del calorimetro, e credere che tutti i gas avessero la stessa capacità. Quando questo non avviene, è certo che il gas riscaldato che entra nel calorimetro cederà una quantità di calore nell'unità di tempo, che dipenderà dalla sua capacità. Per giungere sollecitamente a questa temperatura massima o stazionaria, si può introdurre nel calorimetro dell'acqua già riscaldata ad una temperatura di poco più bassa di quella, che per altre esperienze preparatorie si sa essere la massima per il gas esperimentato. Ecco i numeri ottenuti dalle esperienze di Delaroche e Bérard:

coll'aria, la temperatura stazionaria fu	15,734
coll'idrogene	14,214
coll'ossigene.	15,365

Per riferire i calorici specifici di questi gas a quello dell'aria che si chiama 1, basta una semplice proporzione. Le sperienze di Delaroche e Bérard hanno provato che i calorici specifici dei gas semplici a pressione costante sono gli stessi. E poichè da tutte le proprietà fisiche dei gas e dalle leggi delle loro combinazioni, è molto probabile che in uno stesso volume di un qualunque gas alla stessa temperatura o pressione vi sia lo stesso numero di atomi, si è condotti ad ammettere che per i gas semplici si verifica la legge di Dulong e Petit, che, cioè, la loro capacità atomistica per il calorico è per tutti la stessa.

Studiando la diversa capacità di un gas secondo le diverse pressioni a cui è soggetto, Delaroche e Bérard hanno trovato che questa variava per un dato volume in modo, che era tanto più piccola quanto più la pressione è debole. Così in un dato volume d'aria ridotto a tal forza elastica da non esser più capace di far equilibrio che ad una colonna di mercurio di 1 millesimo di 0m,76, la sua capacità sarebbe anche minore di un

millesimo di quella dell'aria, che è mille volte più densa. Concludiamo da ciò, che pel vuoto la capacità è nulla, e che non v'è in uno spazio vuoto altro calore che quello che vedremo esistere in forma di raggi, e che lo attraversa senza indurvi alcun cambiamento.

LEZIONI LXXVII, LXXVIII, LXXIX e LXXX.

Calorico raggiante. — Raggi caloriflci. — Istrumenti per la misura del calorico raggiante. — Velocità del calorico raggiante. — Leggi dell'emissione del calorico raggiante. — Facoltà emissiva dei corpi — Riflessione del calorico raggiante. — Assorbimento del calorico raggiante. — Facoltà assorbente. — Relazione fra le facoltà che ha un corpo di emettere, e di riflettere e di assorbire il calorico raggiante. — Trasmissione del calore attraverso ai corpi. — Diatermaneità. — Termo-crcologia. — Equilibrio mobile di Prevost. — Raffreddamento dei corpi.

Gli effetti del calorico che abbiamo studiati si riferiscono sempre a temperature costanti: i fenomeni della dilatazione, i cangiamenti di stato sono stati studiati senza aver riguardo al modo con cui il calore si è messo in equilibrio fra i diversi corpi; non abbiamo fatto altro che imparare a determinare quali sono i cangiamenti di volume e di densità che avvengono in un corpo portato da una temperatura ad un'altra. In una parola, si è fatta la Statica del Calore. Ci rimane a sapere in qual modo, con quali leggi si stabiliscono questi stati d'equilibrio nel calore contenuto nei corpi. Un corpo che ha una certa temperatura, immerso in un liquido, abbandonato in uno spazio o vuoto o pieno di un gas, a contatto di un altro corpo solido, e in generale messo in presenza di un corpo che abbia una temperatura meno elevata, si raffredda, la temperatura dell'altro corpo s'innalza, e cessa di variare la loro temperatura allorquando è per ambedue divenuta la stessa. Vi fu dunque perdita di calore per uno dei corpi, guadagno di calore per l'altro; il calore si è trasmesso da un corpo all'altro. È questa trasmissione del calore, sono le leggi di questa trasmissione, che vogliamo ora studiare.

Comincerò dal farvi notare che questa trasmissione s'opera in due modi; i quali almeno apparentemente, son molto diversi fra loro. Il calore si trasmette in distanza, passa rapidissimamente da un corpo ad un altro, benchè sieno molto lontani fra loro: questa trasmissione si fa, sia che l'aria o il gas interposto trovisi in quiete, o sia agitato: è questo uno dei modi di trasmissione del calore, ed è il primo che studieremo. Nell'altro modo, il calore passa da un corpo ad un altro con cui è a contatto: passa lentamente, e si propaga difficilmente se il corpo interposto è mosso di continuo. Diciamo che nel primo il calorico si propaga per *irraggiamento*, e nel secondo per *comunicazione*.

I fatti i più comuni ci provano che il calore si trasmette anche a grandi distanze, rapidamente, e indipendentemente dall'agitazione del mezzo qualunque interposto fra il corpo caldo e quello che riceve il calore. Nessuno di voi ignora che sopra i nostri sensi agisce una palla di ferro infocata posta a molti piedi di distanza: basta d'interporre un diaframma qualunque, di allontanare la palla, di nascondere in qualche modo il volto o la mano, perchè cessi all'istante la sensazione del calore.

V'è un'esperienza di Rumford che prova assai bene la trasmissione del calore attraverso ad uno spazio affatto privo di materia. Il pallone che vedete all'estremità di questo tubo barometrico è di certo lo spazio il più vuoto che possediamo. Nel centro di questo spazio v'è un termometro, di cui la colonna esce fuori dal barometro con cui è stato saldato. Appena accosto un corpo caldo al pallone, il termometro indica un'elevazione di temperatura. Vedremo più innanzi che un effetto tanto rapido non può certamente attribuirsi al calore comunicato dal vetro.

Ammettiamo dunque che il calorico si trasmette a grandi distanze e attraverso ad uno spazio anche vuoto di materia come attraverso ad alcuni corpi, e specialmente ai fluidi elastici. Chiamiamo *raggi* di calore tutte le linee rette condotte dal corpo caldo a quello che è riscaldato, e in generale tutte le infinite direzioni secondo le quali il calore si diffonde ed irraggia.

Studiamo prima questo irraggiamento nel corpo riscaldato da cui il calore è emesso; ma poichè non possiamo riconoscere l'esistenza e misurarne l'intensità, se non ricevendolo sopra alcuni corpi che costituiscono gli apparecchi termometrici, è necessario che prima vi parli di questi. Il termoscopio

o termometro differenziale di Leslie e di Rumford che già vi fu descritto (*Fig.* 3 e 4), è l'istrumento che è stato adoperato sino a questi ultimi tempi nelle ricerche sopra il calorico raggiante. Uno dei bulbi di quest' istrumento è presentato al corpo riscaldato, mentre l'altro rimane ad una temperatura costante, ed è dall'eccesso di temperatura di uno dei bulbi sopra quella dell'altro, che si deduce l'intensità del calorico irraggiato da un corpo. Per esser certi che uno dei bulbi conserva la primitiva temperatura, si interpone un diaframma di cartone fra i due bulbi. Leslie ha accresciuta molto la sensibilità di questo istrumento coprendo di uno strato di nero-fumo, affumicando quello dei due bulbi che deve ricevere l'irraggiamento, e coprendo l'altro di una foglia metallica lucente. Leslie ha pure aggiunto al bulbo annerito, che è presentato al corpo caldo, uno specchio sferico metallico, rispetto al quale è collocato in una posizione determinata. Nelle *Fig.* 1 e 20 si vede la disposizione del termoscopio di Leslie per le ricerche sul calorico raggiante. Impareremo in breve a renderci ragione della sensibilità acquistata dal termoscopio per queste aggiunte. L'altro apparecchio, reso oggi celebre per le scoperte di Melloni, è il moltiplicatore termo-elettrico immaginato dal Nobili. Nella *Fig.* 9 si vede come venga applicato il galvanometro allo studio dei fenomeni del calorico raggiante. B è il galvanometro di cui le deviazioni nell'ago servono ad indicare l'intensità della corrente che il calorico irraggiato dalla sorgente E sviluppa agendo sulla pila termo-elettrica posta in A. La faccia *b* della pila coperta di nero-fumo riceve i raggi calorifici, l'altra *a* è difesa da una specie di coperchio che si chiude a cerniera; *m* ed *n* sono i duo capi metallici del galvanometro che comunicano cogli estremi della pila. In alcune esperienze la pila termo-elettrica si circonda di uno specchio metallico di forma conica, aperto verso il corpo che irraggia il calore. Nella *Fig.* 79 vedesi anche meglio la disposizione della pila termo-elettrica e della sorgente calorifica, che è in questo caso un matraccio o un recipiente qualunque pieno d'acqua riscaldata dalla fiamma ad alcool. La *Fig.* 71 rappresenta tre sorgenti diverse di calore: una, *h*, è una spirale di platino che si tiene incandescente a contatto della fiamma dell'alcool, *l* è una lastra d' ottone affumicata e scaldata di dietro con una lampada, e *g* un vaso di acqua calda. Queste sorgenti hanno di certo una temperatura molto diversa. Il platino incandescente è la sorgente più calda.

Allorchè si presenta ad un corpo caldo o il termoscopio di Leslie o la pila termo-elettrica, si trova presto che l'intensità del calorico irraggiato diminuisce al crescere della distanza fra il corpo caldo e quello che riceve il calore. La legge di questo decrescimento è precisamente quella della ragione inversa del quadrato della distanza: chiamando 1 l'intensità del calore ad 1 di distanza, l'intensità diviene $^1/_4$ ad una distanza doppia, $^1/_9$ ad una distanza tripla. Questa legge, che l'esperienza ha pienamente confermato, è comune a tutte quelle azioni o forze qualunque che si diffondono da un centro regolarmente ed egualmente in tutte le direzioni. Può ognuno spiegarsi con facilità questa legge col solo ragionamento. Si consideri un punto solo da cui il calore in tutti i sensi sia irraggiato, e s'immagini che si trovi al centro di una sfera di un certo raggio. Circondando questo punto di una sfera di un raggio doppio e quindi di una superficie quadrupla, è evidente chè giungendo sopra questa seconda superficie la stessa quantità di calore che cadeva sulla prima, dovrà esservi quattro volte più diffusa; per cui una data porzione di superficie presa sopra la seconda, riceverà una quantità di raggi, che sarà $^1/_4$ di quella che riceveva la stessa porzione di superficie appartenente alla prima sfera. Quindi ad una distanza doppia, sarà $^1/_4$ l'intensità del calore di quello che era alla distanza 1.

L'intensità del calorico raggiante varia ancora proporzionalmente all'estensione della superficie che irraggia. Se presento al termoscopio di Leslie, munito dello specchio sferico, una serie di cubi di latta, pieni tutti d'acqua calda, ad eguale distanza, e di cui le facce non differiscano che di estensione, trovo che gli eccessi di temperatura che indica il termoscopio crescono al crescere dell'estensione della superficie o faccia di quei cubi.

Mentre uno di questi cubi così riscaldato è in presenza del termoscopio, avendo la faccia irraggiante perpendicolare all'asse dello specchio, interpongo un diaframma munito di un foro. Notate quello che avviene nel termoscopio, inclinando la faccia del cubo all'asse dello specchio: qualunque sia il senso in cui si fa questo movimento, purchè non avvicini o non allontani il centro del cubo dal termoscopio, l'indice non si muove, la temperatura rimane costante. Non potrete spiegarvi questo fenomeno senza ammettere che i raggi calorifici emessi obbliquamente dalla superficie di un corpo, variano d'intensità secondo l'angolo che fanno colla superficie da cui partono. Questa legge si esprime più esattamente dicendo,

che l'intensità dei raggi calorifici varia proporzionalmente ai seno dell'angolo che fanno colla superficie da cui partono. Nell'esperienza che ho descritta, a misura che la superficie del cubo caldo si va inclinando sull'asse dello specchio, cresce l'estensione di quella porzione della superficie del cubo che è tagliata dalle linee che partono da tutti i punti formanti il contorno del foro. Se aveste un occhio a questo foro e guardaste alla faccia del cubo, crescerebbe la superficie veduta a misura che si fa più inclinata all'asse del foro. Ma poichè crescendo la superficie irraggiante o il numero dei punti da cui i raggi calorifici partono rimane costante la temperatura del termoscopio, bisogna di necessità che l'intensità di questi raggi diminuisca proporzionalmente all'aumento della superficie che è prodotto dalla sua inclinazione. Questa intensità è massima allorchè i raggi escono perpendicolarmente alla superficie irraggiante. La disposizione di quest'esperienza si vede nella *Fig.* 20, in cui c o' sono i fori dei diaframmi ed A A' BB' un vaso d'acqua calda che può inclinarsi essendo mobile in O. Risulta evidentemente da questa legge, che se si ha un cilindro (*Fig.* 12) tagliato da un piano qualunque, la quantità di calore che proviene dai raggi emessi dalla base A B del cilindro contenuto in questo cilindro, sarà costante qualunque sia l'inclinazione della base, sia che si collochi in A'B', in A''B'' ec. Così una sfera riscaldata emetterà in una data direzione lo stesso calore che emetterebbe uno dei suoi grandi circoli.

Se questa legge non esistesse, non giungeremmo mai ad intendere come un termometro contenuto in uno spazio chiuso, di dimensione e forma qualunque, che è mantenuto ad una temperatura costante, potesse giungere ad indicare in tutti i punti la stessa temperatura. Notate (*Fig.* 8) che i raggi emessi dalla superficie di un corpo s'avvicinano tanto più fra loro, quanto più si considerano inclinati a questa superficie; se la intensità fosse per tutti costante, i corpi che riceverebbero i raggi inclinati sarebbero assai più riscaldati di quelli che li ricevono direttamente. Perciò il termometro situato nello spazio chiuso che ho supposto, dovrebbe indicare delle temperature molto diverse secondo le sue varie posizioni rispetto al recinto. L'esperienza invece prova che la temperatura è in tutti i punti la stessa.

Ma non basta che sia costante la distanza, l'inclinazione o l'estensione della superficie calda che irraggia, perchè il calore ricevuto dal termoscopio o dalla pila termo-elettrica sia lo stesso. V'è un'altra circostanza, molto importante a studiarsi, che influisce grandemente sopra la quantità del calore irraggiato, la quale dipende dalla natura del corpo. Questa circostanza è ciò che chiamasi facoltà *emissiva* dei corpi. Eccovi una esperienza grossolana, che servirà tuttavia a persuadervi della grande differenza prodotta dalla natura della superficie di un corpo sul calore che irraggia. Uno dei cubi di latta che empio d'acqua calda, ha una faccia affumicata o coperta di nero-fumo, l'altra è coperta di carta, la terza di vetro, e l'ultima è lasciata lucente come è la lega metallica di cui è formata. Giro questo cubo a modo da presentare al termoscopio munito del suo specchio, ora l'una faccia, ora l'altra; e benchè l'estensione e la distanza alcuo tenute costanti, variano assai le indicazioni dell'istrumento. La temperatura più alta è mostrata quando è la faccia nera del cubo che guarda il termoscopio, e la minore quando è la faccia lucente. Melloni, di cui dovrò pronunziarvi il nome ad ogni momento nell'esporvi anche molto rapidamente i fenomeni della trasmissione del calorico raggiante, ha determinati i valori di questo facoltà emissive dei diversi corpi. Chiamando 100 la facoltà emissiva del nero-fumo, si ha 100 per il carbonato di piombo, 91 per la colla di pesce, 85 per l'inchiostro di China, 72 per la gomma lacca, e 12 per ogni superficie metallica. Erasi creduto sino a questi ultimi tempi, sulla fede di Leslie, che raschiando la superficie di un corpo si accrescesse la sua facoltà emissiva. Melloni ha provato che questo non si verifica che per i metalli, mentre pei marmi legni ec., l'influenza della raschiatura della superficie è nulla. Presentano i metalli questo risultato perchè per mezzo della raschiatura sono messe allo scoperto delle parti meno denso e meno dure. Difatti una lastra metallica di cui la superficie sia stata molto battuta, acquista assai più di facoltà emissiva colla raschiatura di quello che acquista un'altra che è stata fusa.

Era importante di ricercare, se la grossezza dello strato superficiale di un corpo influiva sulla sua facoltà emissiva. Tentando col nero-fumo non si è trovata differenza, per quanto sottile fosse lo strato. Ma servendosi di vernici, di gomma o di resina, di cui la grossezza può essere sino di $^1/_{3000}$ di pollice, si è giunti a provare che lo strato superficiale deve avere una certa grossezza per produrre un effetto costante, quale si avrebbe se tutto il corpo che irraggia fosse composto della sostanza che compone la vernice. Così, per la gomma, si è provato che si richiedeva uno strato grosso almeno $^1/_{1000}$ di pollice per ottenere lo stesso effetto che produrrebbe uno strato assai grosso di gom-

ma. Quest'influenza della grossezza dello strato superficiale sull'irraggiamento di un corpo, ha fatto supporre che il calorico emesso da un corpo non partisse dalla sua sola superficie, ma ancora dalle molecole situate ad una certa profondità, benchè molto piccola. Il limite di questa profondità sarebbe dato dalla grossezza dello strato di quel corpo che, applicato sopra il corpo caldo, produce un effetto costante d'irraggiamento, eguale a quello che produrrebbe il corpo stesso componente la vernice. La legge dell'intensità del calore emesso obliquamente dalla superficie di un corpo, diviene una conseguenza di questa ipotesi dell'irraggiamento, che si suppone farsi delle molecole sottoposte alla superficie. Infatti dal centro dell'elemento *m m'* della superficie di un corpo riscaldato (*Fig.* 7) si descriva una sfera, la quale abbia per raggio la distanza a cui si trovano le molecole più interne che partecipano all'irraggiamento, e s'immaginino tirati attraverso all'elemento *m m'* tanti piccoli cilindri che abbiano per base l'elemento stesso, e che s'appoggino sulla superficie sferica tracciata. Questi cilindri contengono i raggi emessi dalle molecole sottoposte: i raggi emessi obliquamente hanno una base di cui l'estensione è espressa dall'elemento *m m'* moltiplicato per *Sen.* θ, che è l'angolo d'incidenza. Le quantità di calore emesse nelle due direzioni, normale e inclinata alla superficie, attraverso all'elemento *m m'*, sono evidentemente proporzionali alle sezioni *m m'*, e *m m' Sen.* θ fatte nei due cilindri. Per cui esprimendo con I l'intensità del calore emesso normalmente, è I *Sen.* θ quella del calore emesso obliquamente: l'intensità del calore irraggiato viene perciò a decrescere colla legge suddetta.

Seguitiamo lo studio dei raggi calorifici allorchè incontrano un corpo solido o liquido. L'esperienza ha provato, che secondo la varia natura del corpo poteva accadere una delle quattro cose seguenti: 1.° la diffusione dei raggi calorifici, 2.° la riflessione speculare, 3.° la trasmissione immediata, 4.° l'assorbimento, da cui il riscaldamento del corpo. Non per tutti i corpi si ottengono sempre riuniti questi quattro effetti; così attraverso ad una lastra metallica non v'è traccia di trasmissione immediata.

Melloni ha recentemente provato la diffusione dei raggi calorifici. Per farvi meglio intendere questo fenomeno, vi dirò in breve ciò che avviene di un raggio di luce che incontra un corpo. Supponete di far l'esperienza nell'oscurità introducendo dal foro di una finestra un raggio di luce, e facendolo cadere sopra la superficie di un corpo qualunque. Vedrete, mettendovi in una certa posizione, una striscia di luce che segnerà la strada che tiene il raggio dopo avere incontrato il corpo. Questa è la posizione del raggio *riflesso*. Oltre di questo raggio v'è però una gran quantità di altri raggi i quali si diffondono in tutte le direzioni, ed è a questi che dobbiamo di poter vedere il corpo, senza essere nella direzione del raggio riflesso. Anche i raggi calorifici che vedremo fra poco riflettersi regolarmente secondo una certa legge, si diffondono in parte in tutti i sensi, soffrono dagli strati superficiali del corpo su cui cadono, una *diffusione* analoga a quella dei raggi luminosi. Melloni ha trovato che il nero-fumo produce una diffusione debolissima dei raggi calorifici, e che quindi la sua azione sul calore è analoga a quella che ha sulla luce.

Uno dei curiosi risultati delle ricerche di questo Fisico, è la differenza della diffusione calorifica operata da un dato corpo, secondo la natura della sorgente calorifica. Posso supporre di far irraggiare sopra un corpo, ora il calore d'un matraccio d'acqua calda, ora quello d'un metallo riscaldato, ora quello d'un corpo incandescente. Sono le sorgenti della *Fig.* 71. Suppongo di mettere queste diverse sorgenti a tale distanza dal corpo di cui studio il potere diffusivo, che vi giunga da tutte la stessa quantità di calore. Mi assicurerò coll'esperienza, mettendo la pila in luogo del corpo di cui voglio studiare il potere diffusivo, quanto deve essere maggiore la sua distanza dal metallo incandescente, di quella a cui va collocato il matraccio d'acqua calda per produrre la stessa corrente. In questo modo la quantità dei raggi calorifici che giungono sul corpo è la stessa, e le differenze che scorgerò non potranno attribuirsi che alla natura diversa dei raggi calorifici che emanano dalle varie sorgenti. Appunto la diffusione calorifica si mostra diversa secondo la natura delle *irradiazioni* o dei raggi calorifici. I corpi bianchi disperdono copiosamente i raggi che vengono da un corpo incandescente, e debolmente quelli che partono da sorgenti di basse temperature: è inutile che vi ripeta che si parte sempre di quantità eguale di questi raggi presentati al corpo che diffonde disegualmente per la loro diversa origine.

Le differenze di queste irradiazioni formano la parte più importante delle scoperte che il Melloni ha fatto. Voglio che sin d'ora ne intendiate tutta l'importanza. Vedrete nelle lezioni sulla Luce, che allorquando si fa passare per un prisma di vetro un raggio di luce, non esce bianco, ma diviso in sette raggi di sette colori diversi;

sono i sette colori dello spettro. Quando veggiamo un corpo, rosso p. es., diciamo che la luce bianca che lo illumina si modifica talmente attraverso a questo corpo, da essere assorbiti tutti i colori che compongono la luce bianca, meno i raggi rossi che son trasmessi o riflessi intatti. Se per questo corpo di color rosso si fanno passare altri raggi rossi, questi lo attraversano interamente, mentre qualunque raggio di altro colore viene assorbito. Vedremo più innanzi, con maggior estensione ed esattezza, come avvengano questi fenomeni.

Supponete ora che i raggi calorifici che emanano dalle varie sorgenti sieno composti di diversi raggi, come lo è la luce solare: supponete ancora che secondo la natura delle sorgenti, il calore che ne emana abbondi di alcuni raggi calorifici, che, solo per farmi intender meglio, chiamerò d'un certo colore, e contenga meno di altri raggi di un certo altro colore. Non avrete più difficoltà veruna ad intendere, come la stessa quantità di raggi calorifici misti che si presentano ad un corpo, possa, secondo la natura della loro sorgente, e quindi secondo la proporzione relativa dei raggi calorifici di diverso colore che compongono la stessa somma di raggi emessi, produrre una diffusione diversa: queste differenze, che si riscontrano specialmente quanto alla diffusione calorifica dai corpi bianchi, sono quelle stesse che rispetto alla luce sono prodotte dai corpi diversamente colorati. Vedremo fra poco quant'è imponente la somma dei fatti scoperti dal Melloni, per stabilire l'esistenza di questi raggi calorifici, che ho chiamati di un diverso colore.

Proseguiamo ad esaminare ciò che avviene ai raggi calorifici che incontrano un corpo. V' ho detto che il secondo effetto di quest'incontro è la riflessione del calore, la quale si fa secondo una certa legge. Il calorico raggiante si propaga in linee rette, e si riflette sulla superficie pulita dei corpi: l'angolo d'incidenza che fa un raggio di calore colla normale alla superficie riflettente è eguale all'angolo di riflessione che fa il raggio riflesso colla stessa normale. È questa la legge stessa con cui vedremo riflettersi la luce. L'angolo $s' c p'$ (*Fig.* 55) è eguale all'angolo $p' c r$; $s' c$ è il raggio incidente, $c r$ il raggio riflesso. Immaginatevi un gran circolo graduato, al cui centro sia fissata una lamina metallica lucente. Scorra sulla periferia di questo circolo una pila termo-elettrica, e dalla parte opposta del circolo si trovi un diafragma con un orifizio da cui entri un fascio di raggi calorifici che vada a riflettersi sullo specchio. Girando la pila, si deduce dall'intensità della corrente che vi sviluppa il calore riflesso, la posizione in cui è rimandato; questa posizione è appunto quella che corrisponde alla legge suddetta. Gli specchi sferici (*Fig.* 1) servono assai bene a render palese la legge della riflessione del calore. Si dispongono i due specchi in modo, che i loro assi sieno sulla stessa linea N Y. In F si colloca il corpo caldo, che può essere una palla di ferro infocata od anche un matraccio d'acqua calda. Presso l'altro specchio si trova il bulbo annerito E del termoscopio. Perchè l'esperienza riesca, conviene collocare tanto il corpo caldo quanto il bulbo del termoscopio in alcuni punti particolari posti sull'asse di ognuno degli specchi, i quali sono detti *fochi*. Questi punti F ed F' (*Fig.* 2) sono quelli in cui vengono a riflettersi e a raccogliersi tutti i raggi calorifici che cadono sopra lo specchio paralleli gli uni agli altri. Se nel punto F' si trova il corpo caldo, questo irraggia calore in tutte le direzioni, e tutti quei raggi che cadono sullo specchio sono riflessi paralleli e così rimandati sopra l'altro specchio, dal quale per una seconda riflessione si riuniscono nel foco F, dove si trova il termoscopio. Considerate ad uno ad uno quei raggi che cadono paralleli sopra i diversi punti dello specchio sferico, ed immaginate tanti piani tangenti a questi punti. Se la riflessione si fa colla legge suddetta, deve accadere di necessità che i raggi paralleli si riflettano nel foco, da cui tornano a disperdersi di nuovo, come dajun centro irraggiante. V'è una formola geometrica molto semplice, che esprime in tutti i casi la relazione che passa fra la distanza dallo specchio del corpo irraggiante, la posizione del foco e le dimensioni dello specchio. Per stabilire coll'esperienza la posizione dei fochi di questi due specchi sferici, che vedete posti alla distanza di molti piedi, basta di mover sull'asse e a poca distanza da uno degli specchi, una fiamma qualunque: allora movendovi sull'asse dell'altro specchio e ad una certa distanza con un diafragma di vetro spolito, si vede apparire l'immagine della fiamma: si è certi di esser nel foco dello specchio col diafragma, allorchè l'immagine è la più piccola possibile e quindi la più illuminata. Un tal processo si fonda sulla legge di riflessione dei raggi luminosi, che vedremo essere la stessa di questa dei raggi calorifici. Mentre un corpo caldo è collocato presso ad uno degli specchi, se m'avvicino col bulbo del termoscopio al foco dell'altro specchio, veggo rapidamente moversi l'indice; e allorchè sono precisamente nel foco, lo spostamento dell'indice è massimo. Se interpongo un diafragma fra i due specchi, cessa all'istante il movimen-

to dell'indice, e ritorna appena lo rimovo. In qualunque altra posizione si tenga il termoscopico fuori del foco, anche più vicino al corpo caldo di quello che lo è quando si trova al foco, il movimento dell'indice termoscopio è appena sensibile. Anche alla distanza di molti piedi, non si scorge sensibile intervallo di tempo fra la partenza dei raggi calorifici che vanno a riflettersi sui due specchi, e la loro azione sul termoscopio. È dunque grandissima la rapidità con cui il calorico raggiante si trasmette nei fluidi elastici. È ammesso generalmente che i raggi calorifici i quali accompagnano i raggi luminosi del sole, abbiano la stessa origine e quindi la stessa velocità. Vedremo più innanzi come si è potuto stabilire che la velocità dei raggi luminosi che vengono dal sole sulla terra, deve calcolarsi a 70000 leghe per minuto secondo.

Può scorgersi assai bene la posizione del foco di uno specchio in cui si raccolgono i raggi calorifici, tenendo una lastra di vetro coperta di uno strato sottile di cera, sull'asse e presso lo specchio. Dopo pochi istanti, se v'è una palla infocata al foco dell'altro specchio, si vede cominciare la fusione della cera in un certo punto. Si può con quest'apparato accender l'esca o qualunque altro corpo infiammabile posto nel foco. Vedremo però che la riflessione sopra gli specchi sferici non è il mezzo migliore per concentrare i raggi calorifici.

Vi è ora facile d'intendere la grande sensibilità che ha il termoscoplo di Leslie; di cui uno dei bulbi è collocato nel foco di uno specchio sferico. I raggi calorifici che sono emessi da un corpo, incontrano lo specchio e si riflettono nel foco dove si trova il bulbo del termoscopio.

La facoltà riflettente è molto diversa fra corpo e corpo. Leslie per il primo cercò di stabilire questa facoltà, paragonando le diverse temperature mostrate da un termoscopio di cui lo specchio veniva successivamente modificato nella superficie, e che si trovava di faccia ad un corpo caldo tenuto costantemente nelle stesse circostanze. L'apparecchio (*Fig.* 9) ha servito a Melloni per determinare la facoltà relativa di riflettere il calore che hanno i diversi corpi. Tolti i diaframmi C ed M, s'inclina la pila *a b* in modo che incontri il raggio riflesso da un corpo posto in D, e su cui il calore è mandato dalla sorgente E. Si è trovato che il nero-fumo è affatto privo della facoltà riflettente, e che l'ottone e l'argento sono i corpi che ne sono maggiormente dotati: i numeri 90 per la facoltà riflettente d'argento, 60 del piombo, 10 del vetro ec., esprimono i rapporti con cui questa facoltà è posseduta dai diversi corpi.

Facendo cadere un raggio di calore sopra una stessa superficie, si trova che la porzione che è riflessa cresce a misura che l'angolo d'incidenza è minore: quanto più il raggio incidente s'avvicina alla superficie, tanto maggiormente è riflesso.

Risulta dalle sperienze di Melloni, che la natura diversa della sorgente calorifica non influisce sulla quantità di calore che una certa superficie può riflettere.

Quella porzione di calore che non è nè riflessa nè dispersa dalla superficie di un corpo, lo penetra per rimanervi o per traversarlo rapidamente; è assorbita o trasmessa.

Il riscaldamento dei corpi avviene, nel maggior numero dei casi, per la facoltà che hanno di assorbire il calorico raggiante. Questa facoltà varia proporzionalmente alla quantità di calore che il corpo riceve ed all'estensione della sua superficie, supposta costante la distanza. Sappiamo già con qual legge diminuisce, al crescere della distanza, la quantità di calore che cade sopra una data superficie. Supponendo costante la quantità di calore che è presentata ad un corpo, e la distanza e l'estensione della superficie del corpo stesso, vi sono tuttavia grandi differenze nelle porzioni di calore che un corpo assorbe, le quali dipendono dalla natura del corpo che assorbe il calore e da quella della sorgente calorifica.

Leslie fu il primo ad accorgersi che coprendo di nero-fumo uno specchio, cessava affatto di riflettere il calore e lo assorbiva interamente. Confermò questo Fisico un tale risultato coprendo di nero-fumo il bulbo del termoscopio, collocato al solito al foco di uno specchio sferico, e posto dinanzi ad un corpo di una temperatura costante. Fu generale si è riconosciuto che la facoltà emissiva e l'assorbente variavano nello stesso senso, e che l'ordine in cui i corpi sono disposti quanto al loro potere emissivo, è quello stesso in cui sono disposti per il loro potere assorbente. È anche vero, fino ad un certo segno, che la facoltà riflettente varia in ragione inversa dell'emissiva e dell'assorbente. Queste proposizioni, fondate sopra i risultati di Leslie, non sono più oggi interamente esatte: lo sarebbero ancora se il Melloni non avesse provato che v'era, per molti corpi, una porzione di calore che si disperdeva alla loro superficie senza riflettersi regolarmente, e che secondo la natura della sorgente variavano la facoltà diffusiva e l'assorbente. Se infatti tutto il calore che si presenta ad un corpo, si dividesse in calorico riflesso ed in calorico che penetra nel

corpo, sarebbe esatto di dire che le facoltà assorbenti sono complementarie delle riflettenti. V'è ancora un altro grave errore nell'esperienze di Leslie, fatte coprendo il bulbo del termoscopio di sostanze diverse, e deducendo dalle temperature mostrate i rapporti fra i poteri assorbenti dei corpi che ricoprono il bulbo. La temperatura del termoscopio rimane stazionaria allorchè riceve tanto calore in un dato tempo, quanto ne perde per raffreddamento; ora vedremo che questo raffreddamento si fa per un'azione che, almeno in parte, non varia colla natura della superficie e che interviene per molto nel raffreddamento.

La proporzionalità fra la facoltà emissiva e l'assorbente è provata da un'esperienza di Dulong. Il vaso $n\ v$ (*Fig.*10) che s'empie di acqua calda, ha una delle basi coperta di nero-fumo, mentre l'altra base è lasciata di metallo lucente. Questo vase è collocato fra i due bulbi di un termoscopio, che sono in questo caso formati con due vasi cilindrici simili al vaso $n\ v$. Uno di questi vasi D, guarda con la base coperta di nero-fumo, il vaso $n\ v$; l'altro A, guarda l'altra base del vaso con una base lucente dello stesso metallo del vaso $n\ v$.

Vedesi l'indice B C del termoscopio rimanere stazionario, allorquando i due bulbi sono egualmente distanti dalle due basi del vaso intermedio. La quantità di calore che è emessa dalla faccia lucente del vaso intermedio è di tanto minore di quella che l'altra faccia nera emette, di quanto l'assorbimento della base nera di uno dei bulbi del termoscopio supera l'assorbimento della base lucente dell'altro bulbo. Sia m la quantità di calore che la sorgente emetterebbe avendo una facoltà emissiva assoluta, e ed e' rappresentino le facoltà emissive delle facce v ed n, e a ed a' le facoltà assorbenti delle facce v ed n'. La quantità di calore emessa da v è $m\ e$; sulla faccia n' ne giunge una frazione $k\ m\ e$, di cui n' assorbe una quantità $k\ m\ e\ a'$. La superficie v' assorbe egualmente $k\ m\ e'\ a$. Si ha perciò $e\ a' = e'\ a$, da cui

$$a : a' :: e : e'.$$

Studiendo la facoltà assorbente dei diversi corpi per le varie sorgenti di calore, Melloni ha trovato che per un solo corpo questa facoltà era costante. Questo corpo singolare che non si lascia traversar dal calore, di cui la diffusione è piccolissima e costante per tutte le sorgenti, che non riflette il calore, che lo assorbe interamente, è il nero-fumo. È dunque un corpo che agisce sul calore come sulla luce: è assolutamente nero per i raggi di calore e di luce. Questa proprietà è preziosa per le ricerche sul calorico raggiante. È il solo di cui possa coprirsi il bulbo del termoscopio, essendo certi di avere un effetto massimo e costante. Per gli altri corpi l'assorbimento varia per una stessa quantità di calore, secondo che viene da una sorgente di cui la temperatura è più o meno elevata. Ecco un quadro dei risultati ottenuti dal Melloni, i quali provano che pel solo nero-fumo è **costante la quantità dei raggi assorbiti, qualunque sia la sorgente calorifica. Queste esperienze si fanno disponendo le sorgenti a diversa distanza dai corpi che devono assorbire il calore, in modo che arrivi sopra tutti la stessa quantità di calore.** Se si rappresenta con 100 la quantità di raggi assorbiti dal nero-fumo, le quantità che ne assorbono gli altri corpi per lo stesso numero 100 di raggi incidenti sono espresse dai numeri del quadro seguente.

SOSTANZE	LAMPADA	PLATINO INCANDESCENTE	RAME a 400°	ACQUA a 100°
Nero-fumo.	100	100	100	100
Carbonato di piombo. . . .	53	56	89	100
Colla di pesce.	52	54	84	91
Inchiostro di China. . . .	96	95	87	85
Gomma-lacca	43	47	70	72
Superficie metallica. . . .	14	13,5	13	13

Può dirsi in generale, che la quantità di calore che è assorbita è tanto più grande, quanto più è bassa la temperatura della sorgente.

Parliamo infine di quella porzione dei raggi caloritici incidenti, che traversa i corpi liquidi e alcuni solidi. Abbenchè fosse una esperienza assai facile quella che provava la trasmissione del calor solare attraverso al vetro e ad altri corpi, tuttavia si è lungamente creduto che il calore in questi corpi fosse assorbito, e a poco a poco, dopo averli riscaldati, vi fosse l'irraggiamento del calore dalla faccia opposta a quella per cui guardano il corpo caldo. Prevost provò il primo, che separando il termoscopio dal corpo caldo per mezzo di una lamina sottile di acqua che scolava da un recipiente, vi era tuttavia il riscaldamento del termoscopio. Rinnovandosi continuamente il liquido, non poteva credersi che il termoscopio fosse riscaldato nel modo sospettato. Delaroche provò anche meglio che il vetro era traversato dai raggi calorifici coprendo di nero-fumo la faccia della lamina di vetro rivolta al corpo caldo. In questo caso l'effetto diveniva minore, mentre di certo avrebbe dovuto accrescersi, se il calore avesse agito, dopo essere stato prima assorbito dalla lastra e poi diffondendosi da strato a strato. Le bell'esperienze di Melloni finalmente hanno stabilita la trasmissibilità per il calore in molti corpi. Ha egli chiamato *diatermaneità* questa proprietà, e quindi *diatermani* i corpi che trasmettono il calore, *atermani* quelli che non lo trasmettono. L' apparecchio descritto nella *Fig.* 9 è quello di cui si è servito il Melloni nelle sue esperienze. Eccovi alcune lamine grosse 3 o 4 millimetri, di sal gemma, di allume, di vetro, di acido citrico ec., le quali sono collocate sul sostegno D e poste in mezzo fra il foro del diafragma C e l'apertura della pila A. Si toglie il diafragma M, ed all'istante l'indice del galvanometro si muove ed indica una deviazione che è diversa pei diversi corpi, supposta costante la sorgente di calore che s' adopera.

Per poco che si sposti o s'inclini la lamina, cessa la deviazione: può invece moversi il sostegno che porta la lamina, e quindi la lamina stessa variando così la sua posizione rispetto al foro, senza che l'ago s'allontani dalla sua posizione fissa che ha preso. Eccovi ancora una lamina di sal gemma, che è quattro o cinque volte più grossa di quella or ora adoperata. L'ago del galvanometro, conservando la stessa sorgente di calore e la stessa distanza di prima, indica la medesima deviazione. Se il calore si diffondesse per assorbimento, vi sarebbe di certo una grande differenza fra l'effetto di una lamina sottile e quello di una grossa. Concludiamo dunque che il calore si propaga in alcuni corpi come la luce, cioè rapidamente, in linee rette, e indipendentemente dalla quiete o dal movimento di questi corpi. Confrontando fra loro i risultati ottenuti dal Melloni per i diversi corpi, si trova che la diatermaneità e l'atermaneità differiscono dalla trasparenza e dalla opacità dei corpi. Così il quarzo affumicato e il vetro nero lasciano passare il calorico raggiante, mentre sono opachi affatto. Al contrario una lamina alquanto grossa di allume non lascia passare quasi affatto il calore, mentre trasmette assai bene la luce. Risulta ancora dalle esperienze del Melloni, che di tutti i corpi tentati, il sal gemma è il più diatermano. Fra i liquidi è l'acqua che lascia passare meno calore, e il carburo di solfo quello che ne lascia passare di più. Aumentando la grossezza di una lamina diatermana, la quantità di calore che passa diminuisce. Le perdite però che son prodotte dalla diverse lamine, decrescono sempre per degli accrescimenti eguali di grossezza. Così per una lamina di vetro, le perdite prodotte da 6 accrescimenti successivi di *1mm*, sono 100—73,30 = 26,70; 73,30—68,20 = 5,10; 68,20—65,30 = 2,90; 65,20 — 63,40 = 1,90; 63,40—62 = 1,40; 62—60,85 = 1, 15. La sorgente del calore adoperata in queste esperienze era una lampada alla Locatelli. Se invece di una lamina grossa 6 millimetri, si adoperano sei lamine di *1mm* per ognuna, il calore trasmesso è minore; e questo fatto prova assai bene che il calore, che non è trasmesso, è riflesso e non assorbito. Il sal gemma, dotato di tanta diatermaneità, lascia passare la stessa quantità di calore per delle grossezze che variano fra 2 e 40 millimetri.

Facendo variare le sorgenti del calore, varia il grado della diatermaneità. Le sorgenti adoperate dal Melloni sono la lampada alla Locatelli e le tre della *Fig.* 71. Un solo corpo, che è il sal gemma, presenta la singolarità di conservarsi per tutti diatermano nello stesso grado. Rappresentiamoci con 100 i raggi di calore che si presentano ad una lamina di sal gemma: di questi 100 ve ne sono 92,3 che passano. Questa stessa quantità di calore è sempre ridotta dal sal gemma a 92,3 venga dal sole, dalla lampada alla Locatelli, dal platino incandescente, dal metallo riscaldato a 400°, o dall'acqua bollente. È inutile che vi ripeta che variando le sorgenti si dispongono queste a tali distanze dal corpo diatermano, da giungervi sempre colla stessa intensità. Per tutti gli altri corpi, escluso il sal gemma, la dia-

termaneità diminuisce generalmente a misura che s'abbassa la temperatura della sorgente: questa diminuzione si trova minore a misura che si prendono delle lamine più sottili. V'è però un esempio di un corpo che lascia passar tanto più calore quanto più è bassa la temperatura della sorgente, e questo corpo è il sal gemma affumicato.

Facendo attraversare al calorico una lamina diatermana, la sua diatermaneità è assai modificata: non è più quella che era quando il calorico derivava direttamente dalla sorgente. Già v' ho mostrato con diverse lamine di vetro, che la quantità di calore assorbito dalla prima lamina era molto minore di quella che era assorbito dalla seconda: in generale il calore che ha di già traversato una lamina diatermana, traversa molto più facilmente una lamina simile. Questo stesso effetto s'ottiene anche adoperando lamine di natura diversa. Vi citerò per esempio una lamina di quarzo, la quale agisce come una lamina di sal gemma, sopra il calore che è passato attraverso al vetro. Presentando una quantità di calore che ha già traversato il vetro, e che esprimerò con 100, ad una lamina di quarzo, si vede che ne passa una porzione espressa da 92,3 come sarebbe se fosse di sal gemma. Se questa lamina di quarzo fosse presentata direttamente al calore, ne lascerebbe passare assai meno. Quando il calore ha traversato l'acido citrico, passa per l'allume, che direttamente è cattivo diatermano, come passerebbe per il sal gemma. Si trovano invece dei vetri neri, delle qualità di mica, che attraversate dal calore, gli tolgono quasi affatto la proprietà di passar per l' allume.

Possono dunque trovarsi delle lamine, le quali mentre isolate lasciano passare il calore, unite non lo trasmettono affatto. E siccome queste lamine (vetro verde ed allume) sono trasparenti, si può con esse formare una coppia, che ritiene tutto il calore di un raggio solare e che è diafana; è egualmente possibile di formar delle lamine opache e diatermane. Con queste lamine opache e diatermane si osserva ancora che esponendo al calore che le ha attraversate, delle lamine d'altri corpi, ve ne sono alcune per le quali il calore è trasmesso, ed altre per cui non passa: per alcune la diatermaneità è accresciuta, per altre è diminuita.

Questi fenomeni e gli altri già riferiti della diffusione e dell'assorbimento del calore, tutti variabili secondo la natura delle sorgenti, portano necessariamente ad ammettere, che un raggio calorifico risulta da diverse specie di raggi calorifici elementari, e che ciò avviene indipendentemente dalla luce che può accompagnare quel raggio. Mi interessa assai che intendiate chiaramente questo risultato, che è di certo il più bel passo che abbia fatto la scienza del Calore in questi ultimi tempi. A rendervene facile l'intelligenza, concedetemi che vi accenni alcuni fenomeni, che vedremo più innanzi parlando della Luce. Un raggio solare si compone di sette raggi di un colore diverso. Il colore delle fiamme o delle luci artificiali si forma dal vario miscuglio di questi colori. Vi sono dei corpi colorati i quali non assorbono affatto i raggi che hanno un certo colore, e ne assorbono altri intieramente. Tutti i fatti della diffusione, dell'assorbimento e della trasmissione del calore che abbiamo trovati facendo variare la natura delle sorgenti, non possono intendersi senza ammettere che il calorico raggiante emanato ora dal platino incandescente, ora dalla fiamma della lampada alla Locatelli, ora dal metallo caldo a 400°, ora dall'acqua calda, sia composto dei raggi di specie diversa, mescolati in proporzioni variabili, come lo sono i raggi colorati che formano le diverse fiamme. I corpi diatermani che sono disegualmente traversati dai diversi raggi calorifici, corrispondono a quei corpi colorati che sono trasparenti per alcuni raggi luminosi d'un certo colore e che ne distruggono altri; e nello stesso modo con cui vedremo un vetro di un certo colore assorbire tutti quei raggi che gli vengano da un vetro di un colore diverso e trasmettere quelli che son passati da uno stesso vetro, intenderemo come l'assorbimento del calore sia sempre minore per delle grossezze crescenti del corpo stesso. Nel medesimo modo s'intende come un miscuglio di diversi raggi calorifici che venne semplificato ridotto ad un raggio di una specie sola passando per un certo corpo, possa in seguito essere interamente trasmesso da alcuni corpi, e da altri totalmente assorbito. Un vetro rosso nulla assorbe della luce rossa che gli viene da un vetro simile, ed assorbe invece tutta la luce che gli viene da un vetro violetto.

Avviene nella trasmissione del calore un fenomeno, che vedremo più innanzi accadere anche per la luce. Un raggio di calore (*Fig.* 79), che incontra un prisma di sal gemma, devia dalla sua direzione rettilinea ed esce dal prisma accompagnando il raggio luminoso. Lo stesso accade per i raggi calorifici che non sono mescolati ai luminosi. Questa deviazione è ciò che si chiama *refrazione* del calore. Operando sulla luce solare con un prisma di sal gemma, si può riconoscere la distribuzione dei raggi calorifici in quello spazio illuminato, detto *spettro*, in cui sono distribuiti i sette colori della

luce bianca. Si trova che alcuni raggi calorifici accompagnano i raggi violetti, che altri i quali si rifrangono meno della luce rossa, formano il massimo dello spettro calorifico al di là del rosso. Variando le sostanze del prisma deve variare di necessità la posizione di questo massimo del calore dello spettro, per il diverso assorbimento che soffrono i raggi calorifici di diversa specie dalle varie sostanze. La posizione di questo massimo di calore dovrebbe anche variare cangiando la sorgente. Allorchè si presenta ad un pezzo di vetro di forma lenticolare un raggio solare, si sa da ognun di voi, che è intensissimo il calore raccolto in un certo punto, che è quello in cui anche la luce è la più viva. Questo fenomeno è puro dovuto alla refrazione del calore. Una lente di sal gemma è il miglior mezzo che possediamo per concentrare i raggi calorifici; essa supera l'effetto di uno specchio metallico. Di 100 raggi calorifici che cadono sopra una superficie metallica, 44 ne sono riflessi, mentre una lente di sal gemma ne trasmette e ne rifrange 92.

Le proprietà distinte che abbiamo riconosciute nel calorico raggiante secondo la varia sorgente da cui emana, non alterano punto ciò che abbiamo detto sugli effetti del calore in equilibrio. La quantità di calore che dilata un corpo di 1°, è indipendente dalla sorgente di questo calore: non è che quando il calore abbandona un corpo per passare in un altro, che esso acquista quelle distinte proprietà che si sono studiate. La natura diversa dei corpo, la forma e la disposizione delle sue molecole, possono far variare infinitamente la velocità dei movimenti, qualunque sieno, che costituiscono il calore.

Le cognizioni acquistate sopra i diversi effetti che il calorico raggiante subisce nei suo incontro sui corpi, ci mettono in grado di risolvere questa dimanda. Quale è lo stato del calore in un corpo di cui la temperatura è stazionaria? Possiamo rappresentarci questo stato supponendo che cessi ogni irraggiamento di calore fra corpo e corpo; possiamo intenderlo ancora ammettendo che s'emetta dal corpo di cui la temperatura è stazionaria, una quantità di calore eguale a quella che riceve. Sia che il calore si consideri come un fluido sottilissimo di cui le molecole si movono con una grande velocità e vengono *emesse* dai corpi caldi, sia che si riguardi il calore prodotto da un movimento vibratorio delle molecole dei corpi, comunicato e diffuso con un movimento simile nell'etere, è più naturale di ammettere che la temperatura sia stazionaria, non per l'assoluto riposo del calore, ma per l'eguaglianza fra il calore emesso ed il calore ricevuto. Questa ipotesi è conosciuta sotto il nome del principio dell' *equilibrio mobile* di Prevost, da cui fu immaginata.

Ammettiamo dunque, che appena un corpo, qualunque sia la sua temperatura, è introdotto in uno spazio in cui sono altri corpi, la sua e la loro temperatura non rimane invariabile, se non nel caso in cui sia la stessa per tutti. Se questo non è, tutti i corpi che hanno una più bassa temperatura, si riscaldano ed il corpo si raffredda, o al contrario. Dovrà perciò abbassarsi la temperatura di un termoscopio al presentarsi di un pezzo di ghiaccio: e questo accadrà, non già per l'esistenza dei raggi *frigorifici* che per tanto tempo si sono ammessi generalmente, ma bensì perchè il termometro ricevendo dal ghiaccio meno calorico raggiante di quello che emette, la sua temperatura deve abbassarsi. Si vedrebbe abbassare la temperatura del ghiaccio, se fosse circondato da un miscuglio frigorifico. E nello stesso modo con cui si ottiene un maggior riscaldamento per una minor perdita di raggi calorifici colla disposizione dei due specchi (*Fig.* 1), si vedrà maggiore l'effetto del raffreddamento, mettendo un pezzo di ghiaccio in luogo del corpo caldo. Il termometro collocato al foco dello specchio, non riceve più quei raggi di calore che senza di questo gli venivano dall'ambiente, ed invece riceve il calore dal ghiaccio, di cui la temperatura è di certo inferiore a quella dell'ambiente; la sua temperatura dovrà per ciò abbassarsi più di quello che accadrebbe se non fosse al foco di uno specchio.

LEZIONE LXXXI.

Della comunicazione del calore nei corpi solidi. — Teoria dell'irraggiamento molecolare. — Legge delle temperature stazionarie di una verga solida. — Facoltà conduttrice dei corpi per il calorico. — Comunicazione del calore nei liquidi e nei gas. — Legge del raffreddamento dei corpi.

Le proprietà del calorico raggiante che abbiamo studiate, hanno servito a farci intendere come l'equilibrio delle temperature poteva stabilirsi fra due o più corpi posti a distanza, e separati da uno strato di un fluido elastico. I fenomeni della trasmissione del calorico raggiante nei corpi e le leggi di questa trasmissione, ci servono ad estendere le teorie dell'irraggiamento al caso di due o più corpi separati di quei solidi o liquidi, per i quali il calore si trasmette come per i gas. Forse variando, come può farsi, la natura delle sorgenti calorifiche, variando e paragonando la trasmissibilità per il calore dei diversi corpi gassosi, si giungerà a scoprire delle differenze anche fra questi e gli effetti delle varie sorgenti. Questo campo vastissimo, aperto dalle scoperte di Melloni, sarà ricco di nuovi fatti.

Se ognuno di voi, che il calorico che [si] trasmette e traversa come la luce i solidi e i liquidi, non è quello che li riscalda. Dobbiamo ora occuparci delle leggi con cui avviene la comunicazione del calore da strato a strato in un corpo solido: dobbiamo conoscere come avviene questo riscaldamento. Per intendere questa comunicazione del calore nel corpi solidi si è adottato un principio, che l'esperienza ha confermato nelle sue conseguenze. La ricerca delle leggi della propagazione del calore nei solidi è uno dei più bei passi della Fisica Matematica. Eccovi il fondamento della Teoria di Fourier. Risovvenitevi di quell'esperienza la quale ci ha mostrato che il calore emesso o irraggiato da un corpo, non viene dalle sole molecole che formano la superficie: anche le molecole sottoposte, ad una profondità di certo piccolissima, mandano calore che traversa lo strato che le separa dalla superficie. Uno strato di vernice applicato sopra un corpo, perchè possa rendere la facoltà emissiva dello strato stesso simile a quella che avrebbe un corpo formato interamente della sostanza che compone la vernice, deve avere una determinata grossezza. Per la gomma o per la resina la grossezza di questo strato è di $1/_{1000}$ di pollice. Concludiamo da ciò, che le molecole al di sotto della superficie di $1/_{1000}$ di pollice e tutte quelle in questo strato compreso, mandano calore che è emesso all'esterno e che viene ad irraggiare dalla superficie dopo aver traversato quello strato. Da questo risultato si fu condotto a considerare tutte le molecole di una massa solida come tante sorgenti di calore che irraggia in tutte le direzioni. Questo irraggiamento, detto *molecolare*, si estingue per poco che si consideri grosso l'intervallo fra le due molecole o i due strati di un corpo. Si è dunque supposto che il riscaldamento o la propagazione del calore nei corpi solidi si faccia per mezzo di questo irraggiamento molecolare. Lo ripeto ancora una volta: questo irraggiamento non è quello che esiste fra i corpi a distanza; noi consideriamo ora dei corpi solidi di una struttura omogenea e affatto atermani.

Newton ammise che la quantità di calore che un corpo perdeva nell'unità di tempo, fosse proporzionale alla differenza fra la sua temperatura e quella del corpo che riceveva il calore. È questa la legge del raffreddamento di Newton, che vedremo più innanzi essere d'accordo coll'esperienza, nel solo caso in cui son poco diverse le temperature dei due corpi che si cambiano il calore. Questa legge significa, che se fra due corpi che differiscono di temperatura di 100°, si esprime con 1 la quantità di calore che il più caldo perde in 1" di tempo, è nello stesso tempo questa perdita ridotta a $1/_2$ se la differenza delle loro temperature è la metà. Ora, fra due molecole prossimissime di un corpo solido, ed è in questo caso che ammettiamo l'irraggiamento molecolare, la differenza di temperatura non può esser mai molto grande, e può quindi applicarvisi la legge del raffreddamento di Newton. Supponiamo due molecole m ed m' di un corpo omogeneo e tanto vicine fra loro perchè possa esservi l'irraggiamento molecolare. Se le loro temperature t e t' sono eguali, esse non fanno che cambiarsi il calore, non v'è nè perdita nè guadagno, la loro temperatura è stazionaria. Se una è più calda dell'altra, se t supera t', allora la seconda riceve dalla prima una quantità di calore maggiore di quella che cede, e così la prima si abbassa di temperatura. La quantità di calore che riceve e guadagna m' da m è espressa da a $(t-t')$, in cui a rappresenta l'elemento della distanza fra le due molecole o la conducibilità diversa nei vari corpi. Questa

quantità di calore è nulla, per poco che la distanza fra le molecole sia grande, e varia secondo il grado di conducibilità del corpo che si considera. Consideriamo un grosso strato di un corpo solido, che non perda affatto calore all'esterno e di cui le superficie estreme e parallele sieno mantenute a una temperatura costante, l'una delle quali supera l'altra. È il caso più semplice che possa studiarsi onde applicare questa teoria. Se non vi fosse che una sola sorgente, lo strato supposto finirebbe per prendere in tutti i punti la stessa temperatura della sorgente: ma poichè lo strato è separato da due temperature diverse, è chiaro che la temperatura di ognuna delle sezioni supposte in questo strato andrà crescendo fino ad un certo limite, al quale rimarrà stazionaria. In questo punto ogni sezione riceverà tanto calore dalla sezione che la precede, quanto ne cede alla sezione che la segue: e così per tutte le sezioni passerà la stessa quantità di calore. Allora si troverà che le temperature di due sezioni differiranno della stessa quantità a qualunque distanza si trovino dalle sezioni estreme, di cui le temperature sono costanti. Si dimostra coll'Analisi, che la legge più semplice del decrescimento della temperatura delle diverse sezioni ridotte allo stato d'equilibrio è, che queste temperature finali, stazionarie, decrescono in progressione aritmetica. Variando corpo e rimanendo sempre ferme le condizioni supposte, l'Analisi trova un numero che esprime ciò che si dice il *coefficiente* della conducibilità. Questo numero è la quantità di calore che nell'unità di tempo traversa l'unità di superficie di una sezione che ha per grossezza l'unità di lunghezza e che è interposta fra due sezioni estreme, mantenute a due temperature costanti, diverse fra loro dell'unità. Consideriamo ora il caso in cui lo strato supposto non ha che una sola superficie a contatto di una temperatura costante, e che invece irraggia da tutta la sua superficie del calore verso le pareti di un recinto di cui la temperatura è data. È questo il caso che possiamo realizzare coll'esperienza. Ogni punto o sezione di questo strato irraggerà una quantità di calore all'esterno, la quale seguendo la legge di Newton, sarà espressa dalla differenza fra la temperatura dello strato che si considera e quella del recinto. A misura che le temperature delle sezioni dello strato supposto andranno alzandosi, per essere a contatto di una sorgente a temperatura costante cresceranno le perdite che fanno per irraggiamento all'esterno e pel contatto dell'aria, crescendo la differenza fra la loro temperatura e quella del recinto. Dovrà perciò ogni sezione giungere ad una temperatura stazionaria, e questo accadrà quando la quantità di calore che per l'irraggiamento e pel contatto dell'aria è perduto, sarà eguale alla quantità di calore che è trasmesso dalla sorgente per la sezione che si considera. L'Analisi ha dimostrato, che allorquando le temperature delle diverse sezioni sono rese stazionarie, se si prendono sullo strato delle distanze eguali fra loro, le quali crescano dal punto della sorgente secondo i termini di una progressione aritmetica, dovranno le loro corrispondenti temperature decrescere secondo i termini di una progressione geometrica. Questo risultato può ancora esprimersi in altri termini: se si considerano nello strato o sbarra qualunque diverse sezioni, di cui le distanze alla sorgente del calore sieno espresse dai termini $d_1 d_2 d_3 d_4$, crescenti secondo una progressione aritmetica, le temperature corrispondenti $t_1 t_2 t_3, t_4$ godono della proprietà seguente: la somma di due temperature qualunque, prese a due distanze dispari consecutive, divisa per la temperatura della distanza intermedia che le separa, dà per tutte lo stesso quoziente. Così

$$\frac{t_1 + t_3}{t_2} = \frac{t_2 + t_4}{t_3} \text{ ec.}$$

Despretz ha verificato recentemente questo risultato della teoria: l'apparecchio è quello che vedesi nella *Fig.* 13. La verga metallica A B trovasi all'estremità A in un bagno di piombo fuso, o meglio a contatto di una fiamma di cui la temperatura sia costante. Lungo la verga vi sono delle cavità nelle quali si trovano i bulbi di tanti termometri A' A'', A''', A'''', che per prender meglio la temperatura si fanno pescare in un poco di mercurio con cui s'empiono quelle cavità. Despretz ha trovato che con una verga di rame, dopo due o tre ore le temperature sono stazionarie, e decrescono secondo la legge suddetta.

Fra le più belle conseguenze di questo risultato teoretico, confermato dall'esperienza, è quella di poter dedurre i rapporti delle conducibilità dei corpi. A questo fine si comincia dal rendere eguale la perdita di calore che i diversi corpi ridotti in verghe fanno per l'irraggiamento e pel contatto dell'aria, e ciò si ottiene riducendoli di un'eguale superficie col verniciarli. In questo caso si ha dalla teoria che abbiamo esposto, che le conducibilità dei diversi corpi, supposte eguali tutte le circostanze di grossezza, di superficie ec., stanno fra loro come i quadrati di quelle distanze dalla sorgente per le quali la temperatura stazionaria è la stessa. In tal modo Despretz ha ottenuto che

chiamando 1000 la conducibilità dell'oro, è 981 per il platino, 973 per l'argento, 898 per il rame, 374 per il ferro, 363 per lo zinco, 303 per lo stagno, 180 per il piombo. L'esperienza ha provato che la legge della conducibilità non si verifica per il legno, per le sostanze pietrose, per i marmi ec., di modo che i numeri 24 pel marmo, 12 per la porcellana e 11 per la terra dei fornelli, non sono numeri esatti. Del resto quest'anomalia non può sorprendere, se si considera che questi corpi non hanno una struttura omogenea, di modo che non può esser la stessa la quantità di calore che ne traversa delle grossezze eguali. Un risultato analogo presentano i legni, dei quali la conducibilità nel senso parallelo alle fibre è maggiore di quella che hanno nel senso opposto.

Operando sopra verghe dello stesso metallo e di cui le grossezze sieno diverse, la teoria e l'esperienza ci danno che quelle distanze dalla sorgente per le quali le temperature sono eguali, stanno fra loro come le radici quadrate delle grossezze: il decrescimento delle temperature è dunque assai più rapido per i fili metallici molto sottili, di quello che lo è per delle verghe grosse degli stessi metalli.

Per determinare la conducibilità dei corpi, Fourier aveva immaginato di adoperare un termometro detto *a contatto*, il quale consiste in un imbuto chiuso nell'apertura larga da una pelle, empito di mercurio, e in cui si colloca un termometro. Posando questo termometro sopra un corpo a temperatura costante, interponendovi delle sottili lamine di quei diversi corpi di cui si vuol conoscere la conducibilità, è chiaro che le temperature finali e stazionarie del termometro saranno tanto più elevate, quanto più saranno grandi le conducibilità delle sostanze interposte. Eccovi un altro apparecchio (*Fig.* 11) che fu immaginato da Ingenhouse, e che dà in un modo apparente, benchè inesatto, la prova della diversa conducibilità dei corpi. Consiste in una scatola M N di metallo, in cui sono saldate tante verghe *a*, *b*, *c*, *d* di diversi metalli e di altri corpi ancora. Si coprono queste verghe di uno strato di cera, che si cerca di render per tutte della stessa grossezza. Versando olio caldo nella scatola, si vede in diverso tempo fondere lo strato della cera. La diversa rapidità di questa fusione si giudica proporzionale alla diversa conducibilità delle verghe.

La più importante applicazione che siasi fatta della conducibilità dei metalli, è quella della lanterna di sicurezza di Davy. Consiste questa lanterna in una fiamma a olio o ad alcool, che è circondata da tutti i lati da una rete metallica a maglie piccolissime e fatte con un filo sottilissimo. Appena si tocca con un pezzo di questa rete una fiamma, si vede che rimane tronca e che non supera la rete. Per cui introducendosi con quella lanterna in luoghi ne' quali qualche volta si raccoglie un gas, come l'idrogene bicarbonato, il quale s'accende e detona mescolato all'aria, non accade mai l'accensione. La fiamma riman sempre nell'interno della rete, e non si propaga nel gas esterno. Un filo metallico molto sottile, come quello che compone la rete, conduce benissimo il calore, e lo disperde per conseguenza anche molto facilmente. Eccovi un filo di platino sottile che è incandescente ad una estremità, e che si tiene colle dita a poca distanza senza risentirne riscaldamento molto sensibile. Per questa stessa conducibilità dei metalli si spiega come un filo di canapa, un pezzo di carta, non bruciano tenuti a contatto di una fiamma se sono strettamente appoggiati ad una massa metallica.

La cattiva conducibilità di alcuni corpi, quali sono la lana, i peli, il cotone ec., rende questi corpi opportuni a difenderci dal freddo, a farci perder meno calore nell'inverno. E se a questa cattiva conducibilità uniscono la non facoltà di bruciare, se ne possono formare delle vesti, che ci difendano in mezzo alle fiamme. È coll'amianto, minerale incombustibile, corpo assai cattivo conduttore, che Aldini propose di far le vesti dei pompieri che devono andare tra le fiamme. Si ottiene questa incombustibilità per le tele, pei legni ec., coprendoli di quelle vernici che al calore si vetrificano, e che in tal modo, oltre all'opporsi al riscaldamento, formano uno strato pel quale non può passare l'aria che dovrebbe alimentare la combustione. Tutti i materiali combustibili del Teatro di Monaco son coperti di una vernice di silicato di potasse.

Il fosfato d'ammoniaca è il sale che meglio serve per difender le tele: questo sale si scompone al calore, ed agisce non solo per lo strato di acido fosforico che si applica sul corpo, ma ancora per i gas ammoniacali che svolge, i quali non mantengono la combustione.

Avviene nella propagazione del calore, in alcune circostanze particolari, un fenomeno di cui già vi parlai nell'Acustica. Allorquando una specie di doccia (*Fig.* 25) di rame, munita di un solco nella sua parte convessa, si appoggia in equilibrio con questa stessa parte sopra un prisma di piombo, se è ben riscaldata, si sente un suono che dura un certo tempo. La doccia vibra visibilmente, e accade, toccandola, di far ces-

sare il suono, che però frequentemente ritorna, tolto il contatto, a farsi sentire. Due metalli diversi sono necessari per la riuscita dell'esperienza: il metallo più cattivo conduttore dev'essere il freddo.

Se una carta o un corpo qualunque è interposto nei punti di contatto, il suono manca. Si ammette che l'intensità delle vibrazioni sia proporzionale alla differenza di conducibilità dei due metalli: ma convien confessare che questo fenomeno è ancora molto incompiutamente spiegato.

Parliamo ora della comunicazione del calore nei liquidi. Allorchè si riscalda il fondo di un vaso (*Fig.* 14) pieno d'acqua, in cui nuotano dei pezzetti di legno, ambra ec., si veggono questi corpicciuoli messi in moto dalle correnti predotte nell'acqua. Lungo le pareti questi corpicciuoli montano e discendono al centro. V'è inversione nei movimenti, quando il liquido si raffredda. È naturale che sia così, poichè le pareti essendo le prime a riscaldarsi, comunicano il calore agli strati d'acqua con cui sono a contatto, e questi riscaldati, e perciò resi meno densi, devono salire, cedendo il loro posto alle parti fredde e più dense rimaste nel centro, le quali discendono. Il contrario accade nel raffreddamento. Questa esperienza ci prova, come per la mobilità dell'acqua e dei liquidi in generale venga a complicarsi il fenomeno della propagazione del calore.

Rumford ha negato persino che vi fosse nei liquidi la propagazione per irraggiamento molecolare, ed eccovi le sue esperienze. Abbiasi un vaso cilindrico, come quello della *Fig.* 43, munito di termometri a diverse profondità, e pieno d'acqua. Può immergersi nello strato superficiale dell'acqua un ferro caldo, può accendervisi sopra uno strato d'etere, può anche versarvisi con precauzione acqua calda, senza che il termometro inferiore indichi un aumento di temperatura. In tutte queste esperienze è impedito il movimento degli strati riscaldati, essendo questi alla superficie e non potendo perciò discendere. Despretz ha, in questi ultimi tempi, ripetute le esperienze di Rumford con maggiori cautele, ed ha trovato, che anche riscaldando la superficie di una colonna liquida, v'era tuttavia una piccola quantità di calore propagata in basso, e che perciò deveva ammettersi per questi corpi la propagazione per irraggiamento molecolare. Se fra i liquidi tentati non vi fosse il mercurio, che è corpo atermano, potrebbe benissimo intendersi il riscaldamento del termometro nel basso di un liquido riscaldato alla superficie, attribuendolo al calore trasmesso.

Nei corpi gassosi, che sono anche più facilmente dei liquidi attraversati dal calorico raggiante, e nei quali il movimento degli strati per diversa densità è anche più facile, il riscaldamento per irraggiamento molecolare è appena sensibile. Melloni ha provato a tenere la corrente d'aria calda prodotta da una fiamma in faccia alla pila termo-elettrica, senza veder movere l'ago del galvanometro.

Rumford provava la grande difficoltà dei gas a propagare il calore, mettendo in un paliene dei corpi filamentosi, dei pezzi di carta, e poi riscaldando il paliene. Lasciando raffreddare il paliene, vedeva che occorreva lunghissimo tempo perchè ciò avvenisse, lo che non era quando mancavano quei corpi atti a distruggere o ad impedire le correnti dell'aria. È a questo modo che i corpi filamentosi, i tessuti di cui ci vestiamo, la paglia ec., difendono i corpi dal raffreddamento. L'aria vi rimane stazionaria, non si rinnuova e contatto dei corpi, e perciò non ruba il calore. Approfittiamo della cattiva conducibilità dell'aria facendo le finestre dopple che ci separano con uno strato d'aria dall'aria esterna. Ecco perchè volendo riscaldare una stanza coi tubi di una stufa, conviene tenerli più orizzontali che sia possibile: se fossero verticali, lo strato d'aria calda aderirebbe al tubo e stenterebbe a sollevarsi, mentre pel tubo orizzontale si rinnova continuamente.

Colgo quest'occasione per parlarvi del forte riscaldamento che avviene in una cassa, e di legno e di metallo, di cui una delle facce è chiusa da varie lamine di vetro poste a qualche distanza l'una dall'altra, ed esposta con questa faccia al sole. Il calor solare, che all'aria libera produce il riscaldamento di circa 30°, alza la temperatura della cassa difesa dall'ultimo strato di vetro sino a 100°. Questa accumulazione s'intende bene ricorrendo ai risultati di Melloni. Il calor solare che viene da una sorgente tanto elevata di temperatura, traversa facilmente il vetro; questo non è dei raggi caloriﬁci che dal fondo ripassano di nuovo nell'aria. Essi assai difficilmente traversano gli strati di vetro, venendo da una sorgente che non supera mai 100°. Altrettanto accade nel caso del raffreddamento: i molti strati di vetro con cui si cuopre un corpo caldo esposto all'aria, oltre all'impedire le correnti dell'aria, arrestano l'irraggiamento. Da ciò il metodo comunemente adoperato, di coprire nell'inverno le piccole piante con campane di vetro.

Le leggi della comunicazione del calore e dell'irraggiamento ci mettono in grado di scoprire come avvenga il raffreddamento de'corpi. Un corpo caldo abbandonato all'a-

ria perde continuamente calore, finchè sia giunto ad aver la temperatura dell'aria stessa. Se si osservano con un termometro gli abbassamenti successivi di temperatura, si vede che divengono tanto più lenti, quanto più la sua temperatura s'abbassa e s' avvicina a quella dell'aria. Newton aveva ammesso che le quantità di calore perduto da un corpo nell'unità di tempo, erano proporzionali all'eccesso della sua temperatura sopra quella dell'aria. Così se un corpo caldo a 100° in mezzo all'aria a 0°, perde 10° nel primo minuto, lo stesso corpo caldo a 50° in mezzo all'aria a 0°, perderà 5° nello stesso tempo. Le sperienze fatte da Dulong e Petit hanno provato che questa legge non era esatta. Questi due Fisici incominciarono dallo studiare il raffreddamento in uno spazio vuoto, affine di determinare qual parte avevano nel raffreddamento l'irraggiamento e il contatto dell'aria o d'un gas qualunque: introducevano perciò un grosso termometro pieno di mercurio e riscaldato, nel centro di un pallone di rame internamente annerito e immerso in un bagno d'acqua tenuta a temperatura costante. Notavano allora il tempo impiegato ad abbassarsi di un certo numero di gradi; poi ripetevano l' esperienza dopo aver estratta l'aria, e quindi introducendo altri gas, e infine variando la tensione del gas. Dulong e Petit sono giunti a stabilire dalle loro classiche sperienze,che il calore perduto da un corpo per contatto dei gas è indipendente dalla natura della sua superficie, che è diverso secondo la natura del gas, essendo per l'idrogene triplo di quello che è per l'aria, che cresce colla forza elastica e colla densità del gas, e che è infine proporzionale alla differenza di temperatura fra il corpo e il gas, variando però in una ragione più rapida di questa differenza.

La legge trovata per il raffreddamento in uno spazio assolutamente vuoto e quindi per solo irraggiamento,è la seguente: allorchè un corpo si raffredda in un vaso vuoto mantenuto ad una temperatura costante, le velocità del raffreddamento, dovute ad un eccesso costante di temperatura, crescono come i termini d'una progressione geometrica, allorchè le temperature del vaso crescono come i termini d'una progressione aritmatica. Per avere questo eccesso di temperatura costante, conviene, supponendo di prendere il vaso a delle temperature crescenti, di alzar sempre dello stesso numero di gradi la temperatura del corpo che si raffredda. Tenendo costante la temperatura del vaso vuoto in cui il corpo si raffredda, le velocità del raffreddamento crescono come i termini d' una progressione geometrica diminuiti di un numero costante, allorchè gli eccessi di temperatura crescono come i termini di una progressione aritmetica. Risulta da queste leggi sperimentali, che se fosse possibile di collocare il corpo caldo a raffreddarsi in uno spazio vuoto e assolutamente privo di calore, si troverebbe per il suo raffreddamento questa legge semplicissima: le velocità di raffreddamento diminuirebbero secondo i termini d' una progressione geometrica per delle temperature decrescenti come i termini d'una progressione aritmetica. Questa legge conduce evidentemente a quella trovata dall'esperienza, qualora si consideri che lo spazio in cui mettiamo il corpo a raffreddarsi è limitato e che il vaso irraggia sopra di lui una quantità di calore, la quale cresce a misura che si riscalda. Le perdite assolute di calore del corpo che si raffredda devono infatti diminuirsi in quella quantità di calore che riceve dal vaso, e le velocità del raffreddamento di un corpo non sono che le differenze fra quelle del raffreddamento assoluto e quelle del suo riscaldamento dalle pareti del vaso. Per velocità di raffreddamento s'intende sempre la quantità di calore perduto, o l' abbassamento corrispondente di temperatura, in un intervallo tale di tempo, da conservarsi costante la perdita in ognun degl' istanti che lo compongono. Questa velocità non è di certo data dall'esperienza, non rimanendo mai costante la temperatura di un corpo che si raffredda e quindi variando sempre la quantità di calore che perde. Si determina col calcolo questa velocità costante.

Le leggi del raffreddamento, che Dulong e Petit hanno scoperto, servirono a questi Fisici in la determinazione del calorico specifico dei corpi.

LEZIONE LXXXII.

Sorgenti calorifiche. — Percussione e confricazione. — Calore sviluppato nella compressione dei gas. — Azioni molecolari calorifiche. — Azione chimica. — Combustione. — Elettricità — Calore animale.

Non ci rimane ora che a studiare come il calore si produce, quali sono le sorgenti calorifiche. Allorquando la temperatura di un corpo varia senza che cangi di stato, e che questa variazione è permanente, ammettiamo che il corpo riceve, o perde del calore. Parleremo prima delle sorgenti calorifiche che chiameremo artificiali, perchè le possiamo più o meno modificare. Vorrei potermi lungamente ostendere sopra questo soggetto, essendo convinto che forse potrà esso solo condurci ad avere delle idee meno oscure sulla natura del calorico.

Non v'è cangiamento nell'equilibrio molecolare d'un corpo, che non sia più o meno accompagnato da svolgimento di calore. Un corpo solido urtato, confricato, rotto, piegato, sviluppa in tutti i casi una certa quantità di calore che si rende più o meno sensibile secondo la rapidità diversa con cui si opera, la diversa capacità specifica, la conducibilità ec. Ognuno di voi sà che l'acciaio e la pietra focaia percossi insieme, mandano scintille di fuoco, sviluppano tanto calore da far bruciare le particelle di ferro che si distaccano. Qualunque metallo si prenda a percuotere con un martello, si riscalda; nè può attribuirsi interamente il riscaldamento alla maggior densità che acquista per la percussione e che potrebbe diminuire la capacità specifica, se si considera che il piombo, di cui la densità non muta, è pur capace di riscaldarsi allorchè è percosso. L'influenza dell'aumento di densità sembra provata dal vedere che il calore sviluppato diminuisce reiterando la percussione. La confricazione è pure un'altra cagione di riscaldamento. Chi non sa che boschi interi hanno bruciato per essersi accesi due alberi confricati insieme dal vento? Quante volte non brucia l'asse di legno intorno a cui girano le ruote d'una carozza?

Rumford ha provato che il calore sviluppato da un cilindro di bronzo che ruota facendo 30 giri in un minuto confricandosi contro la superficie di un decimetro quadrato di un cilindro simile, sviluppa tanto calore da riscaldare 5 litri d'acqua a 100°. Non può di certo questo sviluppo spiegarsi per la compressione, per l'aumento di densità, per la diversa capacità specifica. Stirate con pesi un filo di ferro, ed aumentate questi pesi al segno di romperlo: il filo si riscalda, e nel punto di rottura s'accende e brucia. Due pezzi di ghiaccio fatti ruotare l'uno contro l'altro in mezzo ad un ambiente di di una temperatura assai più bassa di 0°, si fondono interamente. Quando delle masse porose di sabbia, di polvere di vetro, di raspatura di legno, di farina ec., sono inzuppate di un liquido, cosa si riscaldano senza che vi sia azione chimica, e qualche volta di 10° al di sopra della loro temperatura. Questi diversi modi di produrre calore assai difficilmente si intendono considerandolo formato di parti estremamente sottili, che si respingono, che si trovano in tutti i corpi, e che sono emesse dai corpi caldi. Converrebbe supporre che la quantità di calore che le molecole di un corpo posseggono, dipenda dalla loro posizione nel corpo o dalla loro profondità al di sotto della superficie. Al contrario, se si suppone che il calore consista in un movimento vibratorio delle molecole, comunicato dalle vibrazioni impresse nell'etere che vi è interposto e che è sparso per tutto, quei fenomeni divengono molto facili a spiegarsi.

Un'altra sorgente di calore è l'azione qualunque che si sveglia fra i corpi gassosi ed i solidi in certe circostanze. Vi sono alcuni corpi solidi, il platino molto diviso, la spugna di platino, il carbone ec., i quali assorbono i corpi gassosi senza combinarvisi con una grande attività, e per questa condensazione sviluppano un'enorme quantità di calore. Così la spugna di platino accende il gas idrogene.

La compressione e la rarefazione dei gas sono altre sorgenti di calore. Il tubo A B (*Fig.* 44) è l'acciarino pneumatico. Si mette un poco d'esca nello stantuffo, e rapidamente si comprime l'aria: l'esca si accende ed il calore che si sviluppa deve almeno esser tale da alzare la temperatura a 300°. Si è creduto un tempo che vi fosse anche sviluppo di luce in questa compressione dell'aria; ed infatti si vede una fiamma facendo l'esperienza nell'oscurità, e senza l'esca. Thenard ha provato recentemente che se si comprimono dei gas che non mantengono la combustione, o se si ha cura di togliere dallo stantuffo e dall'interno della tromba qualunque traccia di sostanza oleosa

la luce manca : lo che prova che la luce non è mai che l'effetto della combustione prodotta per l'innalzamento di temperatura. L'abbassamento di temperatura che avviene nella rarefazione, si rende facilmente sensibile. Eccovi una campana di vetro , che ha nel suo interno il bulbo di un termoscopio di cui la scala esce al di fuori. Posta questa campana sul piatto della macchina pneumatica si vede l'indice rapidamente abbassarsi eppena si comincia ad estrarre l'aria ; poco dopo , se si cessa , l'indice ritorna al al suo posto. Facendo entrar l'aria , l'indice s'innalza e mostra il calore sviluppato dalla compressione. Risovvenitevi di ciò che vi ho detto parlando del calorico specifico del gas e della differenza che passa fra il calorico specifico di un gas a pressione costante e quello a volume costante. Chiamando 1 la quantità di calore che è necessaria per innalzare di un grado la temperature di un volume qualunque di un gas a zero , allorchè questo volume non varia , è chiaro che la quantità di calore necessaria per produrre la stessa elevazione di temperatura, supponendo che si dilati di 1/267 del suo volume sarà maggiore di 1. Sappiamo che il rapporto fra la capacità specifica a pressione costante e quella a volume costante è 1,421. Il numero 0,421 ci rappresenta la quantità di calore che si sviluppa comprimendo il gas di 1/267 del suo volume a 0°, e modo de ridurlo ad occupare il volume primitivo. Può dunque determinarsi la quantità di calore che la compressione di un gas sviluppa conoscendo il termine $\frac{C}{C'}$ che è il rapporto delle due capacità a pressione costante e a volume costante , come può aversi $\frac{C}{C'}$ conoscendo la variazione di temperatura che la compressione produce.

Allorchè si osservano le variazioni di temperatura che la compressione o la rarefazione producono in un gas , si trova che col gas idrogene i segni sono maggiori di quello che coll'aria e coll'acido carbonico. Le differenza è prodotte , non dalla diversa capacità , ma dalla diversa conducibilità del gas. Il gas idrogene si riscalda o si raffredda più facilmente degli altri gas per la grande mobilità delle sue molecole , la quale varia in ragione inversa della densità di un gas. Dulong ha provato che le quantità assolute di calore che è sviluppata dalla compressione di un dato volume di un gas per una certa frazione di questo volume , è la stessa per tutti i gas.

La rarefazione dell'aria o d'un gas qualunque è la sorgente frigorifica più grande che possediamo : il calore assorbito nella rarefazione è eguale al calore sviluppato nella compressione , e questa sembra senza limiti per alcuni gas e per l'aria. La massa dell'aria è d'altronde tanto piccola , da rendere istantanea la produzione del freddo. Il freddo intensissimo che produce l'acido carbonico liquido nel rarefarsi , è dovuto al rarefarsi rapidissimo di questo corpo nell'aria, convertendosi in gas con una forza elastica tanto grande. V'è una macchina in Ungheria , dalla quale si fa escire una corrente d'aria compressa : il freddo prodotto è tale , da congelare i vapori acquei dell'atmosfera. Vedremo che il freddo prodotto dalla rarefazione dell'aria è cagione di molti fenomeni meteorologici.

L'azione chimica è uno dei mezzi che più spesso adoperiamo per sviluppare calore o luce. La combinazione dei corpi è sempre accompagnata da un riscaldamento, il quale è più o meno grande , secondo il grado dell'affinità dei corpi che si combinano. Questo fenomeno importantissimo è ancora assai poco studiato : potrebbe supporsi che la quantità assoluta di calore sviluppata dalla combinazione di un atomo di un corpo con un atomo di un altro , fosse la stessa per qualunque corpo , e che la diversa temperatura dipendesse dalla rapidità con cui si fa la combinazione , dal calorico specifico del composto rispetto a quello dei componenti , dalle loro rispettive conducibilità.

Hess ha provato recentemente , che le quantità di calore sviluppate nelle diverse combinazioni di 1 atomo di un corpo con 1, 2, 3 at. d'un altro, sono fra loro in un rapporto semplice e multiplo. Questo stesso Fisico avrebbe anche trovato che la quantità di calore che è sviluppata in una combinazione è costante , sia che questa si operi direttamente, sia che abbia luogo a riprese. L'acido solforico nel combinarsi colla potassa , sviluppa sempre la stessa quantità di calore , tanto che l'acido sia diluito, quanto che sia anidro , purchè si calcoli il calore che sviluppa l'acido nel combinarsi all'acqua con cui è stato diluito.

La combinazione dell'ossigene col carbonio e coll'idrogene è quella che più frequentemente usiamo per sviluppare calore e luce: è la combustione ordinaria. La fiamma che si produce nella combustione degli olii , alcool , etere ec. , non è altro che la combustione del gas idrogene carbonato e dell'ossido di carbonio.

Nel maggior numero di casi è necessaria una certa temperatura perchè la combinazione dell'ossigene coll'idrogene e col car-

bonio abbia luogo: si avvicina perciò un corpo già caldo a quello che si vuol bruciare. Le più ingegnose di tutte le ipotesi che si sono fatte per spiegare la produzione di calore e di luce nella combinazione chimica è quella di Berzelius, che la considera come un effetto della scarica elettrica. La combinazione chimica è dovuta, nella teoria elettro-chimica, all'attrazione di due corpi carichi di elettricità contrarie, e questa produce la scarica elettrica, che si sa essere calorifica e luminosa.

Rumford e Dulong sono i soli Fisici che si sieno occupati di determinare le quantità di calore che i diversi corpi sviluppano nel combinarsi. L'apparecchio di Rumford è quello della *Fig.* 50. Consiste in una cassa metallica che s'empie d'acqua, e al di cui fondo circola un serpentino di rame a pareti sottilissime, il quale s'apre ad imbuto in P Q ed esce al di fuori in O. Si pone a bruciare il corpo sotto l'imbuto, e si fanno entrare i prodotti della combustione nel tubo del serpentino. Questi cedono il calore all'acqua, che così vien riscaldata. È facile di determinare, con questo apparecchio, di quanti gradi s'innalzerebbe la temperatura di un peso d'acqua eguale a quello del corpo bruciato. Basta perciò di sapere la quantità d'acqua che è nel recipiente, di quanto s'è innalzata la sua temperatura, quale è il peso del corpo bruciato. Convien procurare che i gas escano dal tubo O non avendo più che la temperatura dell'ambiente, e conviene ancora correggere i risultati, tenendo conto del calore comunicato al vaso.

Nel Trattato dell'Elettricità si è discorso lungamente degli effetti calorifici della scarica elettrica.

L'ultima sorgente di calore, di cui voglio parlarvi, è il calore *animale*. Tutti gli animali hanno in generale una temperatura propria, indipendente da quella dell'ambiente in cui sono; e poichè conservano questa temperatura in tutte le circostanze, conviene ammettere che sia una delle funzioni della vita quella di sviluppar calore. La temperatura del corpo umano è di 37° : si misura mettendo il bulbo di un termometro sotto la lingua, e tenendo la bocca chiusa finchè sale la colonna. John Davy ha misurato la temperatura degli uomini a diverse latitudini, e non ha trovato differenze di oltre due o tre gradi, fra gli abitatori dal polo e quelli dell'equatore. Brechet e Becquerel con un termometro molto delicato, composto di una coppia termo-elettrica, hanno trovato differenze appena sensibili nelle temperature delle varie parti del corpo, anche in istato di malattia. Negli altri animali le temperature sembra variare proporzionalmente all'ampiezza ed all'attività degli organi della respirazione. Gli uccelli hanno, fra tutti gli animali, la temperatura più elevata; quelle del gallo è di 44°: i molluschi sono i più freddi, ed hanno generalmente la temperatura del mezzo in cui si trovano.

Dutrochet dice di esser giunto a provare che anche i vegetabili sviluppano calore: sono troppe le cagioni di raffreddamento in questi esseri, perchè il pochissimo calore che forse sviluppano, possa rendersi sensibile. Di certo, in alcune circostanze, la vita dei vegetabili è accompagnata da un riscaldamento assai sensibile: è il caso della fioritura dell'*Arum italicum*.

Dulong, tenendo un animale in un recipiente metallico a pareti sottilissime in mezzo all'acqua e in comunicazione coll'aria, perchè potesse vivere, ha potuto determinare la quantità di calore che sviluppa. Ha confrontato l'illustre Fisico questa quantità di calore con quella che si svilupperebbe dalla combustione del carbonio e dell'idrogene che entrano nell'acido carbonico e nell'acqua, che sono i prodotti della respirazione dell'animale, ed ha trovato che $^9/_{10}$ del calore animale potevano considerarsi prodotti dalla combustione del carbonio e dell'idrogene del sangue. Questa differenza non è però sufficiente perchè si debba rigettare la spiegazione del calore animale per mezzo della respirazione. Nei fatti molto composti, come sono tutti quelli delle funzioni animali, non è mai o quasi mai unica la cagione. Vi sono molte altre funzioni fisico-chimiche nei corpi viventi che possono prender parte alla produzione del loro calore; oltre di che sembra oggi provato che la respirazione non si faccia nei soli polmoni, ma si compia bensì in tutti i punti del sistema vascolare e quindi per tutto il corpo.

METEOROLOGIA

LEZIONE LXXXIII.

Calor solare — Calore degli spazi planetari. — Calore della terra. — Temperature medie. — Linee isotermiche. — Freddo delle montagne. — Nevi perpetue.

Tutti i fenomeni del calore de' quali ci siamo occupati sino ad ora, son prodotti da delle sorgenti di cui possiamo variare l'intensità; ed avvengono fra dei corpi che scegliamo dotati di un grado diverso, di conducibilità, di facoltà emissiva e riflettente, di capacità specifica ec.; onde stabilire come queste proprietà operino nel produrre l'equilibrio di temperatura.

Vi sono però delle sorgenti di calore di un'intensità costante, le quali agiscono periodicamente sopra tutta la terra, ed è da questa sorgenti che dipende principalmente la diversa temperatura dei luoghi, la quale combinata coll'elevazione, colla natura del terreno, colla quantità dell'acque che lo circondano, costituisce ciò che si chiama, generalmente, il clima di un paese. È dello studio di queste sorgenti e degli effetti permanenti e variabili che producono sull'atmosfera e sulla terra, che vogliamo adesso occuparci. Nulla di più difficile che d'esporre con un certo ordine i risultati delle infinite osservazioni che si sono fatte sui diversi punti del globo onde giungere alle leggi generali: queste leggi sono anche poche, e non ve ne ha delle esenti da grandi anomalie. I fenomeni meteorologici sono, fra tutti i fenomeni fisici, quelli, che per il numero grande delle cagioni che insieme si uniscono a produrli, per la grande distanza in cui si operano da noi, per l'impossibilità di ripeterli facendo variare le circostanze che li accompagnano, hanno la spiegazione la più imperfetta ed oscura. Mi limiterò a dirvi di Meteorologia, colla maggior chiarezza che mi sarà possibile, tutto quello che sembra meglio stabilito da un grandissimo numero di osservazioni.

Parliamo prima delle sorgenti del calore sopra la terra, delle cagioni che la riscaldano.

Non v'è dubbio in alcuno di voi che l'azione dei raggi solari non sia la sorgente principale del calore della terra. Chi non sente tutti i giorni crescer la temperatura dell'aria e del suolo a misura che il sole si innalza sull'orizzonte? Chi non sa che quanto più il sole prolunga la sua presenza e seguita ad illuminare la terra, tanto più la temperatura è elevata? Chi non ha provato, infine l'azione viva calorifica dei raggi solari ricevuti direttamente? Quanto più il sole rimane sopra l'orizzonte, o, ciò che torna lo stesso, quanto più è maggiore la durata del giorno, e quanto più i raggi solari agiscono perpendicolarmente sulla superficie della terra, tanto è maggiore il riscaldamento che essi producono. Queste due circostanze del grado di riscaldamento prodotto dal sole, ci spiegano il fatto, o tutti noto, dell'aumento di temperatura che si osserva andando dai poli all'equatore, cioè andando dai luoghi in cui i raggi solari agiscono col minimo d'intensità a quelli in cui sono al massimo d'azione, e ciò per l'obliquità sempre minore con cui cadono sui diversi punti della terra compresi dal polo all'equatore. La durata dell'insolazione influisce tanto sul riscaldamento della terra,

che anche per i punti molto lontani dall'equatore vi sono nell'anno alcuni giorni assai caldi, perchè il sole vi rimane per lungo tempo sopra l'orizzonte. Eccovi alcuni numeri recentemente determinati, e che stimano l'intensità del calor solare nei diversi punti della terra. Il celebre Astronomo Herschell ha trovato, al Capo di Buona Speranza, che un termometro per l'azione diretta dei raggi solari sale a 48°,75, mentre in Europa non oltrepassa mai 29°,5. Queste osservazioni si soglion fare con una specie di termoscopio di Leslie (*Fig.* 6), di cui uno dei bulbi è nero e l'altro coperto di una lamina metallica.

Pouillet ha cercato di determinare, con una specie di calorimetro, la quantità assoluta di calore che si versa dal sole sopra tutta la superficie della terra. Lascia questo Fisico esposto direttamente al sole per un certo tempo un vaso di metallo annerito alla superficie in cui è dell'acqua, e ne misura il riscaldamento; lasciando poi raffreddare questo vaso per un tempo eguale, e fuori del sole per conseguenza, trova i termini di una equazione in cui entra necessariamente la quantità di calore che quella data superficie nera ha ricevuto dal sole. Da questa quantità è facile di passare a quella che riceve tutta la superficie della terra. Quando si riflette a tutte le infinite circostanze che devono modificare l'azione solare sulla terra a produrre il suo riscaldamento si giudica facilmente dell'esattezza di queste determinazioni. Pouillet dice che la quantità di calore che la terra riceve in un anno dal sole è eguale a quella che si richiederebbe per fondere uno strato di ghiaccio che coprisse tutta la terra, e che avesse 14 metri di grossezza. Questa quantità enorme di calore non è, secondo lo stesso Fisico, che 1/2381000000 del calore totale che il sole irraggia in tutte le direzioni.

L'immensa quantità di calore che il sole diffonde in tutti i sensi, deve certamente aver riscaldato anche gli altri pianeti e quindi tutto lo spazio del nostro sistema. Le infinite stelle fisse che brillano nella volta celeste son pure tanti soli, tanti sistemi diversi; e v'è tutta la ragione di credere che sieno caldi e luminosi ad un tempo i raggi che partono da quei soli, o che a noi giungono semplicemente luminosi per l'immensa distanza che ci separa. Dobbiamo perciò giudicare che gli spazi planetari hanno una determinata temperatura, e che contengono una certa quantità di calore. Senza di ciò ci troveremmo, tolto il sole, in mezzo ad un recinto, di cui la temperatura sarebbe la più bassa che possa immaginarsi; sarebbe quella del freddo assoluto.

Non posso qui svilupparvi tutte quelle considerazioni profonde con cui Fourier e Poisson hanno dedotta l'esistenza di questo calore degli spazi planetari: esse esigono delle cognizioni troppo superiori di analisi. Parmi però che i fatti conosciuti ed il solo ragionamento conducano ad ammetterne l'esistenza. Immaginatevi che i soli raggi solari riscaldino la terra, e considerate in questa ipotesi, qual dovrebbe essere il raffreddamento che proverebbe la terra cessata l'azione solare.

La terra riscaldata nel giorno, irraggia nella notte il suo calore verso gli spazi planetari: è certo che per quanto bassa si supponga la temperatura di questi spazi, non potrà mai quella della terra discender tanto da divenirne inferiore. Ma se si suppone invece che, tolto il sole, la terra si trovi ad irraggiare verso uno spazio *di freddo assoluto*, privo affatto di calore, chi non vede che la velocità del raffreddamento diviene anche senza limiti, e che tutto il calore ricevuto dal sole dovrà disperdersi nella notte in un tempo infinitamente piccolo? L'esistenza del calore degli spazi planetari che i fatti tutti ed il semplice ragionamento ci provano, cambiano interamente le condizioni calorifiche del nostro globo, o bisogna convenire che l'averla introdotta nello studio della Meteorologia è avere interamente cangiato l'aspetto di questa scienza.

Calor solare e calore degli spazi planetari; ecco le due sorgenti del calore sulla terra, le due cagioni dalle quali dipende la temperatura dei diversi punti del globo.

Veggiamo adunque come s' opera il riscaldamento della terra nel giorno, come avviene il suo raffreddamento nella notte, come dalla differenza di questi due elementi dipende la temperatura di un luogo. Se la terra non fosse circondata da un' atmosfera gassosa, i raggi solari si trasmetterebbero dal sole a noi, senza venire in nessun modo diminuiti d'intensità; non vi sarebbe, cioè, calore assorbito dal mezzo interposto. La superficie della terra si riscalderebbe assai più che non si riscalda nello stato in cui si trova. Basta d'innalzarsi sui monti, per provare quanto l'azione diretta dei raggi solari è più intensa di quella, che questi raggi hanno alle stazioni basse.

Vi dirò anche a questo proposito, un numero che ha trovato Pouillet: dice questo Fisico, che può calcolarsi la perdita del calor solare per l'assorbimento dell'aria a circa la metà. Di 100 raggi calorifici che partono dal sole, 50 soli giungono sulla terra, i quali vi si distribuiscono diversamente secondo la diversa obliquità con cui traversano l'aria e si presentano alla superficie. Que-

sta superficie assorbe i raggi calorifici del sole, e si riscalda. Basterà di ricordarsi le proprietà dell'aria e dei corpi solidi atermani rispetto al calorico raggiante, per ispiegarsi come la terra debba, sotto l'azione solare, scaldarsi assai più dell' aria che v'è a contatto.

Il calor solare giunto sulla superficie della terra dopo aver diminuito d' intensità, specialmente nei primi strati dell'atmosfera, per l'assorbimento del mezzo gassoso traversato, è in piccolissima quantità riflesso ed in gran parte è assorbito e propagato anche nell'interno. Un termometro tenuto in contatto del suolo ed uno a piccolissima distanza nell'aria, mostrano sempre, allorchè il sole li riscalda, una differenza di temperatura che è qualche volta di molti gradi, e che è costantemente in favore del primo. L'atmosfera agisce in questo riscaldamento, come i diversi vetri con cui Saussure copriva il recinto esposto al sole. La terra riscaldata irraggia calore, e tende a perderne per conseguenza questo fenomeno è tanto più sensibile allorchè cessa, nella notte, il riscaldamento solare. Ma anche in questo raffreddamento interviene l' atmosfera per diminuirlo: una sorgente a bassa temperatura quale è la terra riscaldata dal sole, emette dei raggi che assai difficilmente traversano il mezzo diatermano che la circonda. Immaginate che l'aria cresca di densità che la terra sia circondata da uno strato di vetro o da un altro corpo diatermano qualunque, e il suo riscaldamento e raffreddamento diventeranno ancora più lenti di quello che ora lo sono. Accade però anche nel raffreddamento quello che si è detto accadere nel giorno: il suolo ha un potere emissivo più grande dell'aria, ed emette perciò nella notte più calore che non ne emette l'aria, la quale è anche riscaldata dai raggi del suolo che trattiene. V'è perciò nella notte differenza fra la temperatura del suolo e quella dell'aria sovrapposta; la prima è sempre più bassa. Avviene in alcune circostanze in cui l'irraggiamento del suolo è molto favorito, che la sua temperatura s'abbassi assai al disotto di quella dell'aria sovrapposta. In questo caso è l'aria che immediatamente tocca il suolo che ne prende la temperatura, ed è allora solamente che si trova che le temperature degli strati d'aria si vanno innalzando a misura che si prendono ad una maggior distanza dalla terra. Questo aumento, prodotto dal contatto della terra raffreddata, cessa però all'altezza di pochi piedi, e seguitando a salire nell'atmosfera, la temperatura s' abbassa continuamente, come vedremo più innanzi.

L'atmosfera regola ancora in un altro modo la temperatura della terra: secondo che nel giorno o si dilata pel riscaldamento, o si costipa nella notte per raffreddamento, assorbe o svolge calore; nel primo caso abbassa, nell'altro innalza la sua temperatura. È dunque all' atmosfera che dobbiamo di non passare da un forte calore del giorno ad un freddo intensissimo nella notte: ed è perciò, anche in questo aspetto, immensa l'azione dell'atmosfera sopra la vita dei corpi organici.

Si è creduto sino a questi ultimi tempi che il calore si diffondesse nell'atmosfera portato dalle correnti ascendenti dell' aria riscaldata sulla superficie della terra, e che nella notte esistessero invece correnti discendenti di aria fredda. Saigey il primo ed Espy in questi ultimi tempi hanno provato, con un calcolo molto semplice, che questi movimenti non sussistono nell'atmosfera nel modo supposto; perciò non hanno parte nel riscaldamento o nel raffreddamento del suolo e dell' aria che v' è a contatto.

L'aria a contatto del suolo e quindi riscaldata nel giorno, benchè dilatata, non sale, nè scende l'aria fredda degli strati superiori dell' atmosfera. Un dato volume d' aria nel passare da uno strato all'altro, dovendo prendere la densità dell' aria appartenente al nuovo strato, assorbirebbe in un caso, e svolgerebbe nell'altro, per la sua variazione di volume, tanto calore, da dover di nuovo scendere od alzarsi a stazioni anche più basse o più elevate di quelle da cui è partita. Vedremo più innanzi con qual legge decresce la temperatura a misura che si sale nell'alto dell'atmosfera; per ora prenderò alcuni numeri per mostrarvi più chiaramente come non possano queste correnti produrre la distribuzione del calore nell' atmosfera.

Mentre l'aria a contatto del suolo e sotto la pressione di 760*mm* è a 30°, a 5163*metri* d' altezza, dove la pressione è di 414*mm*, la temperatura è di 0°. Se un dato volume di quest' aria si suppone portato sul suolo in modo da occupare lo stesso volume di un' egual quantità d' aria che già vi sia, la sua temperatura verrà ad innalzarsi a 44° e quindi a 14° di più di quella che già vi si trova. Accadrebbe lo stesso facendo il calcolo per l' aria portata in alto. Converrebbe ammettere, supponendo la realtà di queste correnti d' aria che l' aria calda salisse per occupare il posto della fredda; nel qual caso avverrebbe, che nel salire si raffredderebbe di più dello strato d' aria discendente, di cui si suppone che vada ad occupare il posto.

Abbenchè l' aria sia sempre ad una temperatura più alta presso il suolo di quello

che in alto, non ne viene perciò che debba salire: quantunque più calda e più dilatata dell'aria sovrapposta, sostiene tuttavia una pressione maggiore, e basta che la compressione superi l'effetto della dilatazione prodotta dal calore, perchè conservi il suo posto. Vedremo più innanzi che il raffreddamento dell'aria a misura che si sale, non si fa in un rapporto tanto rapido, da poter la dilatazione prodotta dal calore negli strati inferiori superare l'effetto della maggior pressione che soffrono gli strati inferiori dell'atmosfera. Questi movimenti verticali dell'aria non si verificano che nell'estate, e per delle piccolissime altezze: vi sono in qualche caso delle circostanze locali che innalzano grandemente la temperatura di certi punti del suolo e dell'aria che vi è a contatto, e che portano così una grande differenza di temperatura fra lo strato d'aria che tocca il suolo e lo strato immediatamente superiore.

Il calor solare assorbito dalla superficie del suolo, si diffonde anche negli strati sottoposti; e si vede infatti innalzarsi nel giorno la temperatura di un termometro coperto di un grosso strato di terra, ed abbassarsi nella notte: la temperatura della superficie della terra va in tal modo crescendo o diminuendo secondo che il calore ricevuto nel giorno è maggiore o minore del calore irraggiato nella notte. Dipenderà dalla durata del giorno e dalla diversa obliquità dei raggi solari, il senso in cui si farà la variazione finale di temperatura di un dato luogo. Nell'atmosfera e sulla superficie del suolo la temperatura vien crescendo nel giorno, ed è naturale che il suo massimo non avvenga, allorchè l'azione dei raggi solari è al massimo. Il calore continua ad accumularsi nell'atmosfera e nel suolo, finchè il calore assorbito supera quello che è perduto per irraggiamento. Ecco perchè la temperatura seguita a crescere nel giorno oltre al mezzogiorno, e giunge al suo massimo a circa due ore dopo. Avviene la stessa cosa per le variazioni annuali: le temperature estreme non corrispondono all'epoche dei passaggi del sole al solstizi. Il calore continua ad accumularsi finchè è maggiore il guadagno fatto nel giorno della perdita sofferta nella notte. Per Parigi il mese più freddo è il Gennaio, ed i mesi più caldi sono il Luglio e l'Agosto.

Con questi stessi principi s'intende come il calore si distribuisca al disotto della superficie della terra, e come debbono variare le temperature che mostrano nel giorno e nell'anno dei termometri collocati a delle profondità comprese fra 1 *metr.* e 15 o 16 *metr.* dalla superficie. Nell'estate le temperature decrescono a misura che cresce la profondità; nell'inverno, in vece, la temperatura s'innalza colle profondità. Le variazioni prodotte nelle temperature degli strati sottoposti alla superficie per le variazioni diurne, s'estinguono ad una profondità non maggiore di un metro: quelle invece prodotte dalla differenza delle stagioni, si mostrano sino a delle profondità di 8 a 10 metri.

L'azione solare non ha luogo sulle grandi masse d'acqua, come sulla superficie della terra. Il freddo che è prodotto dall'evaporazione dell'acqua, la sua grande capacità per il calore, i movimenti che in essa vi si producono per la temperatura diversa dei vari strati, sono tutte circostanze che influiscono perchè l'acqua si riscaldi nel giorno molto meno della terra, e perchè meno si raffreddi nella notte: per cui nella temperatura dell'aria sovrapposta alle acque non si scorgono quelle grandi variazioni periodiche del giorno e dell'anno, che si osservano nel centro dei grandi continenti. È tanta l'influenza del mare sulla temperatura di un luogo, che l'osservazione ha mostrato, che lungo le coste ed anche a delle grandi distanze, si conserva l'influenza delle masse d'acqua a diminuire le variazioni periodiche di temperatura.

Possediamo oggi un grandissimo numero di osservazioni di temperature del mare, fatte anche a grandi profondità. Ecco i risultati i più importanti di queste osservazioni, dovute principalmente al Capitano Duperrey. Fra i tropici la temperatura dell'acqua del mare diminuisce colla profondità. Nei mari polari la temperatura aumenta a misura che si scende più in basso. Nei mari temperati fra 30° e 70° di latitudine, la temperatura decresce tanto meno colla profondità quanto più la latitudine è maggiore, ed è al parallelo di 70° che comincia a crescere. V'è perciò una tale zona, per la quale la temperatura è costante dalla superficie sino a delle grandi profondità. La temperatura trovata nelle più grandi profondità del mare è stata di 2°,2. Questa temperatura si trova presso il polo a 700 braccia dalla superficie. Ora che sappiamo che l'acqua del mare a quelle temperature non ha il massimo di densità, possiamo difficilmente spiegarci questa costante temperatura del fondo del mare, tanto più alta di quella che ha il mare stesso alla superficie. Osservazioni recenti hanno provato l'esistenza di correnti continue che anderebbero dall'equatore al polo ad una grande profondità, e dal polo all'equatore alla superficie delle acque. Nei mari del Chilì e del Perù, Humboldt ha trovato una corrente diretta dal sud al nord, che porta fino

al parallelo del Capo Bianco le acque fredde delle regioni australi: si è pur trovata una vasta corrente d'acqua calda, che dopo essersi sollevata ed aver ripiegato nel golfo del Messico e quindi sboccato per lo stretto di Bahama, si move dal sud al nord ad una certa distanza dalle coste degli Stati-Uniti.

Dei fenomeni anche non meno curiosi di questi si sono scoperti, studiando la temperatura dell'interno della terra sino a grandi profondità.

Dobbiamo al celebre Cassini la prima osservazione di questo genere. Egli collocò un termometro, costruito accuratamente da Lavoisier, nelle cave dell'Osservatorio di Parigi a circa 27 metri al disotto della superficie. Sono oramai 53 anni che questo termometro si osserva, e non si è mai trovata una variazione che superi 23 centesimi di grado: la temperatura costante che segua è di 11°, 82. Vedremo più innanzi la relazione curiosa fra la temperatura costante di questo strato della terra e quella dell'aria. È certo che un tal fatto non può essere unico, e non mancano ogni giorno nuove osservazioni le quali ci provano che ad una profondità, che è varia per i diversi luoghi, si trova una temperatura invariabile per tutto l'anno. Presso l'equatore lo *strato di temperatura invariabile* sembra assai poco profondo, e cresce colla latitudine la sua profondità: in tutti i casi questa temperatura costante è eguale a quella temperatura che dicesi *la media* del luogo corrispondente verticalmente al punto interno della terra in cui la temperatura è invariabile.

Al disotto di questo strato della terra, in cui non avviene variazione di calore, si trova che la temperatura va crescendo in ragione della profondità. È osservazione antica, che alcune miniere hanno una temperatura più elevata di quella del luogo alla superficie. Queste osservazioni furono per alcuni la prova, o piuttosto la conseguenza, della famosa teoria del calor centrale, che molti degli antichi Filosofi avevano ammesso. Si è però lungamente dubitato, che il calore dalle miniere dovesse attribuirsi alle azioni chimiche, e alla presenza degli operai. Non è che in questi ultimi tempi, e specialmente per le cure di Arago, che il gran fatto dell'innalzamento della temperatura nel seno della terra, stimato di 1° per ogni 25 o 30 metri, è stato messo fuori di dubbio.

Immaginò Arago di provare il fatto del calor centrale, prendendo la temperatura delle sorgenti che s'innalzano nei pozzi così detti *artesiani*. Le osservazioni hanno pienamente confermata l'espettativa del celebre Astronomo. Il più importante di questi pozzi è quello che con tanto zelo e fatica Mulot ha forato ultimamente nella pianura di Grenelle, e nel quale l'acqua saliente si è avuta ad una profondità inferiore a 700 metri. A misura che questo pozzo s'andava forando, si trovavano coi termometrografi delle temperature sempre crescenti. Il rapporto generalmente trovato fra gli aumenti di profondità e di temperatura è di 1° per 25 o 30 metri.

Dopo questo fatto, ricevono una spiegazione molto semplice le sorgenti di acqua termali. Egli è ben vero che in alcuni casi queste acque calde scaturiscono in poca distanza da quei terreni nei quali le azioni chimiche le più intense si operano anche a piccolissime profondità dal suolo: in tal caso è naturale che la temperatura delle acque debba attribuirsi alle cagioni locali, e ben lo provano le variazioni che vi avvengono.

Posso citarvi l'esempio delle acque termali dei Bagni a Morba, che scaturiscono a poca distanza dai soffioni dell'acido borico delle Pomarance. Per queste acque la temperatura ha variato in un periodo non molto grande di anni; e ciò che maggiormente interessa, la variazione ha consistito in un aumento della loro temperatura di 5° a 6°. Di certo questa variazione non può attribuirsi ad una variazione in più nel calore della terra; e non si può per conseguenza, per le acque della Morba, ricorrere a questo calore onde spiegarne la temperatura. Importerebbe assai di esaminare con molta accuratezza le variazioni di temperatura e di composizione che alle diverse epoche dell'anno presentano le acque termali: è questo un soggetto ancora oscuro, e di un grandissimo interesse a studiarsi.

Allorchè si pensa quanto si è lontani dal centro della terra, discesi anche a 700 metri, si ha ragione di ammettere che questo centro sia occupato da dei minerali in fusione e quindi immensamente caldi. Fourier ed i Geologi moderni son tutti d'accordo per ispiegare l'esistenza del calor centrale, supponendo che in origine la terra fosse allo stato di fusione, e che a poco a poco, raffreddandosi, siasi la crosta solidificata, conservando sempre nel centro un nucleo in fusione. Da queste idee trae origine la celebre teoria dei sollevamenti, con cui si spiega la formazione delle grandi catene dei monti, l'esistenza delle rocce di fusione al disopra di quei terreni che evidentemente sono formati in mezzo all'acqua, le alterazioni profonde che ad evidenza mostrano di aver sofferto questi ultimi terreni nella loro composizione e struttura in vicinanza agli strati delle rocce fuse che li hanno sollevati.

Non voglio lasciarvi ignorare che Poisson ha spiegato l'innalzamento di temperatura che si riscontra negli strati profondi della terra, supponendo che questa, insieme a tutto il sistema solare, si trovi ora portata in uno spazio freddo venendo da uno in cui la temperatura era più elevata. In questa ipotesi, accadrebbe della terra quello che avviene di un corpo qualunque riscaldato, che è esposto in uno spazio freddo. Misurando la temperatura dei diversi punti di questo corpo nel tempo che si raffredda, si trova che s'innalza a misura che si considerano dei punti più vicini al suo centro.

Che che ne sia dello stato primitivo della terra e della origine del suo calore, è provato dai risultati analitici di Fourier che il suo raffreddamento è divenuto tanto lento, da potersi calcolare a $1/576_{00}$ di grado per un secolo. V'è un fatto astronomico che prova evidentemente la grande lentezza di questo raffreddamento: è quello della costante durata del giorno siderale. Se un corpo solido che ruota intorno ad un asse diminuisse di diametro, la sua velocità di rotazione diminuirebbe ancora, come avviene delle oscillazioni più lente di un pendolo che s'accorcia. La terra raffreddandosi diminuirebbe di volume, e la sua rivoluzione sarebbe per conseguenza più rapida. Da tanti secoli non si è scoperta variazione alcuna nella durata del giorno siderale. La temperatura della superficie della terra non è dunque in un modo sensibile aumentata dal calor centrale e tutto si riduce all'azione solare ed al calore degli spazi planetari.

È tempo che vi parli dei risultati i più generali, ai quali si è giunti con una lunghissima serie di osservazioni fatte per molti anni e sopra quasi tutti i punti del globo, a fine di determinare con esattezza le temperature e le variazioni che in questo avvengono secondo le stagioni, le altezze, le condizioni del suolo ec. Vi dirò prima del metodo usato onde avere la temperatura dell'aria in un luogo qualunque. Non basta perciò di avere un termometro costrutto e graduato con esattezza: non è nelle stanze, ma bensì all'aria aperta che il termometro dovrà collocarsi. Conviene ancora difenderlo dai raggi diretti del sole e da quelli che per riflessione possono essergli rimandati da un muro o dal terreno. Si colloca perciò il termometro all'ombra, al nord dell'osservatorio o dell'abitazione; e per difenderlo dal calor riflesso, si sospende o fra due larghi dischi di legno paralleli, o meglio a delle striscie verticali di legno che riuniscono due dischi: formando una specie di tamburo [*Fig.* 54]. Questo tamburo fissato in un vasto campo e ad una certa elevazione dal suolo, è disposto in modo da poter ruotare intorno ad un asse verticale, onde tenerlo costantemente al nord e all'ombra.

Osservando in un punto qualunque della terra la temperatura dell'aria per ogn'istante di tempo, p. es. ad ogni minuto, sommando insieme le temperature trovate in un giorno intero, e dividendo questa somma per il numero delle osservazioni, il numero che ne risulta è ciò che dicesi la temperatura *media* del giorno in quel luogo. L'osservazione ha provato, che la temperatura media del giorno, determinata nel modo suddetto, si trova egualmente prendendo la più alta temperatura che è verso le 2 ore dopo mezzogiorno, e la più bassa che è a 4 ore del mattino, sommandole insieme, e dividendo per metà questa somma. È per questo genere di osservazioni che i termometrografi del Bellani sono di una grande utilità. Si è pure trovato che v'è in tutti i mesi dell'anno una tale temperatura in una certa ora del giorno, che corrisponde alle medie temperature dedotte coi due metodi precedenti. Nel mese di Luglio, alle 7 del mattino, la temperatura è eguale alla media temperatura del giorno; questa media si trova a 10 ore nel Gennaio ed alle ore intermedie negli altri mesi. Trovate le temperature medie del giorno, si giunge con queste a determinare la temperatura media dell'anno e del luogo. Difatti, in qualunque dei modi suddetti sia stata dedotta la temperatura media del giorno, basterà di sommar insieme tutte le medie di un mese, e di dividere la somma pel numero dei giorni del mese onde avere la temperatura media di quel mese. Dalle dodici temperature medie sommate e divise per dodici, si ha la temperatura media dell'anno. Allorchè poi per una lunga serie di osservazioni si è ottenuto la temperatura media di molti anni, può similmente ottenersi la temperatura media del luogo, che è la media delle temperature annuali, sommando queste e dividendo la somma per il numero degli anni, di cui si hanno le temperature medie.

Dalla determinazione della temperatura media di un luogo può cercarsi la soluzione di una delle più importanti questioni della Fisica terrestre: v'è egli per ogni luogo una temperatura media? i cambiamenti di temperatura succedono per oscillazione, o variano in un modo progressivo, tendendo costantemente ad abbassarsi o ad alzarsi? Le infinite osservazioni che si son raccolte da tutti i punti del globo da moltissimi anni, hanno ormai stabilito che deve riguardarsi costante la temperatura media di un luogo qualunque, e che perciò le variazioni, ora in più, ora in meno, che suc-

cedono nei diversi anni, si distruggono allorchè si sommano le medie di molti anni. È evidente che per giungere ad un termine più esatto è necessario di avere la media di un numero tanto più grande di anni, quanto più si trovano diverse fra loro le medie annuali.

Il risultato importante e cui siamo giunti è che la temperatura media annuale è eguale alla temperatura invariabile dello strato interno, che è, pei nostri climi, posato a 25 o 30 metri sotto la superficie della terra. Anche le acque dei pozzi non molto profondi hanno una temperatura costante, che è eguale alla media del luogo in cui scaturiscono. È dunque la temperatura media l'effetto più semplice dell'azione solare sopra un luogo, ed è perciò l'elemento fondamentale onde dedurre la natura del clima di un luogo. Ecco perchè noi diciamo che in generale sono stabili i climi della terra: intendiamo con ciò di riferirci ad epoche, che quantunque molto lontane da noi, sono piccolissime rispetto a quelle in cui ebbe origine il nostro globo. L'esistenza di certe piante ed animali che allo stato fossile si rinvengono in terreni, sopra i quali non potrebbero più oggi vivere per la più alta temperatura che esigono, ci prova che in realtà la temperatura del nostro globo ha diminuito, e che quelle temperature che oggi sono proprie delle zone equatoriali, hanno appartenuto un tempo alle zone vicine ai poli.

La latitudine e l'altezza di un luogo al disopra del livello del mare, sono le due circostanze da cui dipende la temperatura media di un luogo.

Humboldt ha cercato il primo di raccogliere i risultati di molte osservazioni, e di dedurne alcune conseguenze generali. Riunendo insieme tutti quei punti della sfera terrestre in cui la temperatura media è la stessa, Humboldt ha tracciate quelle linee, da lui chiamate *isotermiche*, e che ha trovato non esser parallele all'equatore, nè parallele fra loro. A eguaglianza di latitudine si trova che la temperatura media è più elevata in Europa ed in Affrica di quello che lo sia nell'America ed in Asia. Da questi risultati ne viene, che i poli *freddi* della terra non devono coincidere coi poli della terra. La temperatura dei poli freddi sembra compresa fra 25° o 30° sotto zero.

La ricerca del clima di un luogo non è però interamente risoluta, allorchè se ne conosce la temperatura media: lo che è facile ad intendersi, se si considera che è possibile di avere una stessa temperatura media per due punti della terra, pei quali però nei diversi giorni e mesi dell'anno, le temperature sieno molto diverse fra loro. Alla Nuova-York la temperatura media è di 12°, 1, ed il mese più caldo ha 27°, 1 di temperatura media, e 3° sotto zero è la temperatura del mese più freddo. La differenza fra le due temperature è di 30°,8. A Parigi, di cui è 10°,6 la temperatura media, non v'è che 16°,2° di differenza fra la più elevata e la più bassa temperatura dell'anno. È anzi da questi estremi di temperatura che dipende principalmente la condizione di un clima onde mantenere o distruggere la vita degli esseri organizzati. Allorchè diciamo che il clima dei diversi punti della terra è stabile, intendiamo di aver riguardo, oltre alla loro media temperatura, agli estremi di freddo e caldo dei diversi giorni e mesi dell'anno. Ed infatti deduciamo anche la costanza dei climi dalla vita di certi vegetabili, che sappiamo dalla Storia appartenere ad un tal punto della terra da molti secoli.

Le variazioni di temperatura fra il giorno e la notte sono massime all'equatore e minime al polo, e in generale sono tanto più grandi, quanto più è elevata la temperatura media del giorno. È facile ad intendersi questa grande differenza nelle temperature del giorno e della notte all'equatore: l'irraggiamento notturno è tanto più grande, quanto più la terra è riscaldata nel giorno; oltredichè la purezza del cielo in queste regioni favorisce grandemente l'irraggiamento.

Nelle Indie si fa nelle notti ghiacciare l'acqua, esponendola, in luoghi molto scoperti ed elevati all'irraggiamento.

Si è pure trovato che le variazioni diurne di temperatura sono più grandi nell'estate che nella primavera e nell'autunno, e maggiori in queste ultime stagioni di quello che sono nell'inverno. Quando si giungesse col calcolo a determinare quella temperatura, di certo molto bassa, per la quale non vi fossero più variazioni diurne, di certo essa corrisponderebbe alla temperatura degli spazi planetari, la quale è necessariamente indipendente dall'azione solare e quindi dalla successione del giorno e della notte. Saigey ha raccolto in un quadro i risultati di un grandissimo numero di osservazioni, da cui può dedursi la temperatura alla quale cessano le variazioni fra il giorno e la notte. Ecco il quadro di Saigey:

Temperature medie del giorno.	*Variazioni estreme fra il giorno e la notte.*
20°	10°,5
10	9,0

0	7,8
— 10	6,5
— 20	5,2
— 32	3,4

Prolungando questa serie, si trova che le variazioni cessano a 60° sotto zero. È dunque almeno di 60° sotto zero la temperatura degli spazi planetari.

Veggiamo infine come varia la temperatura a misura che si sale nell' alto dell' atmosfera, e per quali cause avvengono queste variazioni. Le osservazioni fatte da Saussure sulla cima del Monte Bianco, hanno provato che fra Ginevra e la cima delle Alpi v'è la differenza di 30°. Ad un'altezza di 4372 metri sopra il Lago di Ginevra v'è una temperatura di 2, 25 sotto zero, mentre è 28° quella dell'aria a Ginevra. Vi è dunque la diminuzione di un grado di temperatura per ogni 144 metri che si sale. Ramond e Humboldt confermarono in seguito il fatto scoperto da Saussure, ed aggiunsero che non era colla stessa legge che per tutti i punti della terra diminuiva la temperatura dell'aria secondo le altezze. Gay-Lussac nella sua celebre ascensione areostatica, trovò a 6973 metri la temperatura di 9° sotto zero, avendo lasciato 30°,8 alla superficie da cui s'alzò. Nelle regioni polari, a 69°,21' di latitudine, il Capitano Parry innalzando, col mezzo di un cervo volante, un termometrografo a 180 metri, trovò 31° sotto zero, cioè la stessa temperatura dei ghiacci polari. Eccovi un quadro in cui sono raccolti i risultati delle osservazioni di Humboldt fatte all'equatore.

Altezza.	*Temperatura media.*	*Differenza.*
0 *metri*	27°,5	
1000	21,8	5,7
2000	18,4	3,4
3000	14,3	4,1
4000	7	7,3
5000	1,5	5,5

La diminuzione di temperatura non è dunque uniforme; alzandosi da 1000 a 2000 metri e quindi per un'altezza di 1000 metri, la temperatura si abbassa di 3°,4: da 3000 a 4000 l'abbassamento è quasi doppio. Potrebbe dirsi che la regione dai 1000 ai 3000 metri in cui è assai lento l'abbassamento di temperatura, essendo anche quella in cui stanziano ordinariamente le nubi all'equatore, dovesse il suo minore raffreddamento alla presenza dei vapori condensati che assorbono maggiormente i raggi solari. Dopo 5000 metri il raffreddamento diviene assai lento. Le conseguenze generali che possono dedursi dalle molte osservazioni che oggi possediamo sopra questo soggetto, sono, che il raffreddamento che si prova salendo nell' atmosfera è più rapido in estate che in inverno, più rapido nei paesi caldi che nei freddi, e in generale mai uniforme. Dal suolo sino alle regioni in cui il raffreddamento diviene più rapido, il raffreddamento è in termine medio di 1° per 175 metri di altezza, supponendo che 30° sia la temperatura da cui si parte. Questo raffreddamento è di 1° per 190 metri se la temperatura del suolo è di 20°, e questa stessa diminuzione si trova per 209, 233, 270, 323, 411, 588, 1038, 6144 metri, supponendo di avere sul suolo delle temperature medie successivamente decrescenti di 10°. È naturale che il raffreddamento dell'atmosfera sopra i grandi mari avvenga con leggi diverse da quelle che abbiamo trovate, le quali non possono applicarsi che nel caso dell' atmosfera che riposa sopra delle vaste pianure.

Chi di voi non vede che il raffreddamento dell' atmosfera sarebbe illimitato senza il calore degli spazi planetari? Era appunto questa la conclusione alla quale i Geometri erano giunti, e che necessariamente li conduceva ad un risultato evidentemente illusorio: non vi sarebbe, cioè, più atmosfera a quella altezza in cui la temperatura fosse di 267° sotto zero. Intendiamo ora assai bene come oltrepassata una certa elevazione, il raffreddamento decresca indefinitamente.

Non è mai al disotto di 60° sotto zero, adottando questo numero per la temperatura degli spazi planetari, che potrà scendere la temperatura dell'atmosfera nelle più elevate regioni. Lo ripeto nuovamente: la terra riscaldata nel giorno dai raggi solari, si raffredda nella notte irraggiando verso gli spazi celesti che hanno una certa temperatura, e quindi tanto più si raffredda, quanto fu più riscaldata nel giorno. I raggi del sole traversano l'atmosfera, e la porzione di questi che viene assorbita e che riscalda l'aria, cresce colla densità dell'aria stessa: la superficie della terra riscaldata dall'azione solare riscalda l'aria con cui è in contatto, ed il calore da strato a strato d' aria si propaga negli strati più elevati, producendovi però una temperatura tanto meno elevata quanto più diviene meno densa, quanto è più debole la pressione a cui è soggetta: è questa una conseguenza della capacità specifica dell' aria a diverse pressioni. Non è mai per mezzo delle correnti ascendenti e discendenti verticalmente, che il calore si diffonde dal suolo nell'atmosfera e dall'atmosfera sul suolo. La quantità assoluta di calore che è contenuta in un dato

peso d'aria è tanto più grande, quanto più è alta la regione in cui è presa: una data quantità d'aria presa nell'alto dell'atmosfera e portata in basso ad occuparvi un volume simile a quello dell'aria che vi esiste, svolgerebbe, per la variazione di volume, una quantità di calore capace di innalzare la sua temperatura al disopra di quella dell'aria di mezzo alla quale si supporrebbe di farla discendere.

Devo parlarvi eziandio dell'influenza che hanno i monti nel raffreddamento. A circostanze eguali l'aria è più fredda presso i monti che ad una stessa altezza presa sopra un terreno di pianura. Le nubi che circondano quasi costantemente certe alte cime di monti, che vi si formano frequentemente, provano ancora l'influenza che hanno i monti nel raffreddamento dell'atmosfera che li circonda. Si ammette in generale che il riscaldamento delle alte vette dei monti, benchè maggiore di quello di una egual superficie di pianura a condizioni eguali, sia superato dalla perdita che le prime soffrono nel notturno irraggiamento.

La cagione principale del raffreddamento dei monti deve anche trovarsi nella più rapida evaporazione dell'umidità di cui sono imbevuti: importerebbe assai di avere, per mezzo di ascensioni areostatiche, una serie di osservazioni termometriche nell'alto dell'atmosfera, fatte a molta distanza dai monti.

La presenza delle nevi nell'alto dei monti è necessariamente dovuta al raffreddamento dell'alto dell'atmosfera. In tutti i climi le nevi sono permanenti a delle altezze più o meno grandi dal suolo. In generale questo limite, in cui cominciano le nevi perpetue, s'innalza a misura che si avvicina all'equatore. Nelle Indie il limite delle nevi perpetue è a 4800 metri sopra il livello del mare, nei Pirenei è a 2730m, nelle Alpi a 2370m, e a 1050m verso l'estremità settentrionale della Norvegia. È curiosa l'osservazione di Pentland, che fra i 14 e i 19 gradi di latitudine il limite delle nevi perpetue è più elevato che all'equatore.

Nel fissare questo limite di altezza a cui la neve è perpetua, interviene non solo la temperatura media annuale, ma quella ancora del mese più caldo, e la ragione è evidente. S'alza o s'abbassa questo limite colla temperatura media del mese più caldo: la quantità di neve che si accumula nell'inverno sui monti, la vicinanza del mare, la natura del terreno, lo stato naturalmente più o meno nebbioso dell'atmosfera, sono tutte circostanze che influiscono grandemente nel far variare il limite delle nevi perpetue.

LEZIONI LXXXIV e LXXXV.

Condensazione del vapor acqueo nell'atmosfera. — Nubi. — Pioggia. — Nebbie. — Nevi. — Rugiada. — Variazioni nella pressione atmosferica. — Venti. — Trombe.

Le cognizioni acquistate sopra la distribuzione del calore nei diversi punti della terra e alle diverse altezze dell'atmosfera, ci conducono naturalmente a studiare come il vapore acqueo, di cui la formazione e l'esistenza sono necessariamente legate colle temperature, si diffonda nell'atmosfera e vi si condensi producendo talora le nubi, talaltra le piogge, le nevi, le nebbie, la rugiada.

Parlandovi dell'influenza dell'aria sulla formazione del vapore acqueo, avete visto che essa si riduceva unicamente a rallentarla: qualunque sia la densità dell'aria, vi sia aria o no, il vapore si forma, empie un dato spazio come se l'aria non esistesse; nel vuoto l'evaporazione è istantanea, nell'aria impiega un certo tempo dipendente dalle varie circostanze che già esponemmo. Se la superficie della terra fosse coperta di acqua, se l'atmosfera non esistesse, se la temperatura in tutto lo spazio fosse uniforme, si formerebbe all'istante un'atmosfera di vapore, disposto a strati di densità sempre decrescente: cesserebbe il vapore di formarsi, quando lo strato formato alla superficie fosse giunto al massimo di densità e di forza elastica. Questa atmosfera di vapore non varierebbe più quando non accadesse variazione di temperatura, nè potrebbe mai accadervi condensazione di vapore. Se le temperature crescessero a misura che si sale sopra la terra, sussisterebbe ancora ciò che si è detto: non vi sarebbe mai, nè in questo nè nel primo caso, vapore condensato, e nè nubi nè pioggia si vedrebbero mai in una tale atmosfera. Immaginiamo invece che la temperatura diminuisca colle altezze, e la condensazione del vapore diviene una conseguenza necessaria del raffreddamento che abbiamo trovato operarsi con una certa rapidità.

Se un'atmosfera gassosa circonda la terra, se i continenti occupano una porzione della sua superficie, non ne viene per ciò che la condensazione del vapore non acceda egualmente. La minor quantità d'acqua che bagna la superficie della terra per la presenza dei continenti e l'influenza dell'atmosfera, non fanno che rallentare la formazione del vapore e la sua condensazione. È un calcolo molto semplice quello che prova la necessità della condensazione del vapore nell'atmosfera per il suo raffreddamento, crescente a misura che ei sale. Dividiamo l'atmosfera in tanti strati di diversa altezza in cui la temperatura decresca di 5° in 5°. Supponiamo a 30° la temperatura della superficie della terra e del primo strato d'aria con cui è a contatto, e ammettiamo ancora che in tutti gli strati sia l'aria satura di vapori. Per salire dal suolo, in cui la temperatura è a 30°, ad uno strato in cui la temperatura sia di 25°, conviene alzarsi di 934 metri; il vapore contenuto in una colonna di quest'altezza, fa equilibrio ad una colonna di mercurio alta 1,87 millimetri. Conviene alzarsi a 1833 metri per giungere a 20°, ed il vapore in questo nuovo strato fa equilibrio ad una colonna di mercurio alta 1,30 millimetri. Continuando così ad alzarsi sino a 8807 metri, ove la temperatura è di 20° sotto zero, si trova che il peso totale della colonna di vapore è rappresentato dal peso d'una colonna di mercurio alta 7,92 millimetri. A 30° di temperatura il vapor acqueo formato sul suolo fa equilibrio ad una colonna alta 30,6 millimetri: non abbiamo dunque che una pressione, la quale è circa $^1/_4$ di quella che sarebbe necessaria, perchè il vapore non s'innalzasse. Aggiungasi che si è supposto che gli strati dell'aria fossero saturi di vapori, e non è che raramente che ei trovano in questo stato, e tanto meno lo sono quanto più in alto si prendono. Per tutti gli strati dell'atmosfera avviene quello che abbiamo visto accadere per lo strato inferiore. V'è per tutti gli strati un eccesso di forza elastica con cui vincono il peso del vapore sovrapposto: tutti perciò s'innalzano simultaneamente e giungono a delle regioni sempre più fredde, in cui si condensano.

Sarebbe necessario un raffreddamento quattro volte più rapido di quello che si è trovato nell'atmosfera, perchè la condensazione non avesse luogo. In una parola, accade fra la terra e l'atmosfera quello che avviene in un apparecchio di distillazione, in una caldaia chiusa di cui il coperchio è costantemente ad una bassa temperatura. Il vapore vi si forma, sale spinto con un eccesso di forza elastica con cui vince il peso del vapor sovrapposto, e giunge in tal guisa a contatto del coperchio freddo sopra il quale si fa liquido.

Il vapore condensato nell'atmosfera deve produrre quel fenomeno, che vediamo accadere allorchè s'apre una caldaia in cui l'acqua è molto calda: è quello che avviene nell'inverno mandando fuori l'aria espirata dal polmoni, è ciò che succede d'estate intorno ai corpi molto freddi. Il vapore che si condensa forma una nebbia, toglie la trasparenza all'aria: e se la condensazione è molto rapida, se è molta la quantità del vapore che è mescolata all'aria fredda, il vapore si condensa in piccole gocce che cadono. Le nubi, le nebbie, la pioggia, sono fenomeni identici a questi che v'ho citato.

Ma come mai il vapore condensato rimane stazionario nell'atmosfera, come s'agglomera formando le nubi, che sembrano tante volte densissime, come può sostenersi l'acqua liquida in mezzo all'aria? Si è per lungo tempo risposto a queste questioni con una teoria emessa dall'illustre Viaggiatore delle Alpi. Saussure considera le nubi costituite da piccole vescichette d'aria formate da un velo d'acqua; e poichè l'aria interna deve essere satura di vapore e quindi più leggiera di un egual volume d'aria secca, esso spiega così come possano le nubi rimanere sospese. Egli dice d'aver visto colla lente formarsi il vapor vescicolare nel bollire di alcuni liquidi, anneriti con caffè, o con inchiostro, onde meglio fare l'osservazione. S'intende difficilmente come questa esperienza possa eseguirsi; oltrediché quando anche fosse vero che l'aria contenuta nelle vescichette si trovasse satura, non ne verrebbe per ciò che fosse più leggiera dell'aria in cui si trovano immerse, dovendo anche quest'ultime esser satura di vapore, come l'aria interna. Provate a formar vescichette o palloncini coll'acqua di sapone, e vedrete che cessando di soffiare, il palloncino diminuisce presto di diametro e scoppia: perchè il palloncino duri, l'aria interna deve esservi più densa, più compressa dell'esterna. Come mai potrebbe esservi, nella formazione del vapor vescicolare nell'atmosfera, questa maggior densità dell'aria interna? Tutto ci porta a supporre, che le nubi e le nebbie non sono altro che una riunione di piccolissime gocce d'acqua liquida, tanto piccole da non render sensibile il fenomeno dell'arcobaleno, che vedremo in seguito accadere colle gocce della pioggia.

Fresnel ha dato la spiegazione la più soddisfacente della sospensione delle nubi. È certo che sotto l'azione dei raggi solari, le nubi e quindi l'aria interposta fra le picco-

le gocce d'acqua, si riscaldano più dell'aria in cui stanno: provate a dirigere un termoscopio munito di uno specchio, o il termomoltiplicatore, verso il cielo, e lasciate che la sua temperatura s'abbassi sino a rimanere stazionaria. Se allora una nube si mostra in cielo e si presenta nel campo dello specchio, all'istante si osserva un innalzamento di temperatura.

Fresnel ammette dunque che l'aria interposta ai globetti acquei di una nube sia più riscaldata e dilatata dell'aria esterna, a formi in tal modo coi globetti stessi un insieme, che pesi meno di un egual volume d'aria circostante.

Potrebbe anche dirsi con Saigey, che i globetti d'acqua che costituiscono le nubi sono sempre più pesanti dell'aria, o cadono come il polviscolo. Se non che cadendo e traversando strati d'aria più calda, si convertono di nuovo in vapore che risale alla regione ove l'aria è satura, per convertirsi di nuovo in nube. Le gocce d'acqua cadrebbero costantemente, si convertirebbero in vapore, che risalirebbe di nuovo per condensarsi in liquido. Sarebbe in questa ipotesi, per una specie di equilibrio *mobile*, che le nubi si conserverebbero nel loro insieme, cambiando continuamente nelle loro parti.

Le nubi sono, in generale, distribuite nell'atmosfera a strati che sembrano fissi ad altezze diverse. Questo carattere appartiene tanto a quelle piccole nubi che in forma di fiocchi compaiono nei giorni sereni al mattino, e che Howard chiama nubi a *cirro*, quanto alle grosse e nere nubi a *cumulo* dell'estate. Una volta formato un primo strato di nubi, il suo riscaldamento sotto l'azione dei raggi solari diviene, per gli strati superiori dell'atmosfera, quello che è la superficie della terra per le prime nubi. Il vapore che da quel primo strato si solleva, va a condensarsi più in alto. L'altezza delle nubi varia da mille metri sino a 12 mila metri. Sulla cima del Monte Bianco si veggono nubi che sembrano tanto elevate, quanto appaiono alte le nubi che si osservano dalle pianure. Gay-Lussac che nella sua celebre ascensione areostatica si innalzò a circa 7000 metri, si vedeva sopra il capo delle nubi ad un'altezza molto grande, e che non poteva fissare a meno di 3000 metri. Non v'è dunque un'unica regione dell'atmosfera in cui le nubi si formino e si conservino: è però a circa oltre 3000 metri, che è l'altezza alla quale il raffreddamento diviene più rapido, che più generalmente si trovano. Per questa stessa ragione le nubi si formano più frequentemente di intorno ai monti, e vi sembrano attirate.

Indipendentemente dal raffreddamento, che è proprio degli strati sempre più elevati dell'atmosfera e in cui il vapore va a condensarsi come in un refrigerante, vi sono delle circostanze che parzialmente raffreddano alcuni punti dell'atmosfera e condensano il vapore che vi si trova. Non è raro che una rapida diminuzione nella pressione atmosferica sia seguita dalla rarefazione degli strati vicini dell'aria e quindi dal suo raffreddamento. È anzi in questo caso solo, che l'indicazione del barometro può servirci di preludio ad un cangiamento di tempo, all'annuvolamento di quella porzione del cielo che ci sovrasta. Avviene anche spesso che due correnti d'aria o venti, uno freddo e l'altro caldo, più o meno saturi di vapore, s'incontrano, si mescolano, e producono or le nubi, or la pioggia. La quantità di vapore che satura l'aria cresce assai più rapidamente della temperatura, ed è perciò che quella quantità di vapore che satura due masse d'aria a diverse temperature è molto più grande di quella che satura il loro miscuglio, di cui la temperatura è la media. Dipende dalla temperatura relativa delle due correnti d'aria che si mescolano, dal grado di saturazione, il farsi or nubi, or piogge, or anche neve, in questo miscuglio. Basta di aver visitato una volta uno di quei luoghi della terra nei quali esistono dei fenomeni vulcanici, in cui si vede sollevarsi costantemente del vapor acqueo dal seno della terra, per rendersi conto degli effetti diversi della condensazione del vapore acqueo nell'atmosfera e delle cagioni di queste differenze. Ho tante volte tenuto dietro alla condensazione del vapor acqueo che esce dai soffioni dell'acido borico in Toscana, ed ho sempre osservato che le diverse maniere di questa condensazione dipendono dalla temperatura dell'aria. Osservate di notte, al mattino, questi luoghi, e vedrete che una densa nebbia, uno strato di vere nubi li circonda: appena il sole s'innalza sull'orizzonte e cresce la temperatura dell'aria, il vapore si solleva, si dissipa, e non è più che una nebbia rara quella che circonda i soffioni: fate queste osservazioni in un giorno d'inverno molto freddo, ed una vera pioggia sarà il risultato del vapor condensato. Ciò avviene anche nell'atmosfera: appena il sole ascende sotto l'orizzonte, le nubi generalmente si formano e spesso si accolgono intorno ai monti; le nebbie ancora compariscono alla stessa ora. Al mattino le nebbie si dissipano, le nubi si staccano dai monti e si sollevano. Le acque dei laghi e dei fiumi, che sappiamo nella notte raffreddarsi assai meno della terra, emettono dei vapori che si conden-

sano, allorchè sono mescolati coll'aria fredda che riposa sui terreni vicini. Quando la nevi si fondono e raro che non si formino nebbie sopra i fiumi: è questo un effetto evidente del calore assorbito nel cangiamento di stato. È curiosa l'osservazione fatta di alcuna nebbie che tramandano un cattivo odore, e che qualche volta invece di render umida l'aria, la rendono più asciutta. In questi casi, alcune sostanze estranea all'aria e che vi nuotano come il polviscolo, si condensano insieme al vapor acqueo. I terreni vulcanici, le eruzioni, la putrefazione delle acque stagnanti, trasportano nell'aria dei corpi, di cui ancora ignoriamo la natura, e sono questi che vengono a deporsi insieme coll' acqua condensata. Quella nebbie *secche*, nelle quali si vede l'igrometro indicare la siccità, devono forse attribuirsi a dei corpi distillati fatti gassosi, come quelli cha vengono dalla combustione del legno e del carbone. Chi non sa infatti che alcune città, e specialmente dell'Inghilterra, in cui si consuma per combustibile una gran quantità di carbon fossile, sono costantemente coperte da una densa nebbia che ha tutto l'odore dei gas che distillano da quel corpo in combustione?

Tutte le volte che il vapore si condensa in gocce più grosse di quelle cha costituiscono le nubi, che una nube o una nebbia sono prese da un nuovo raffreddamento il quale fa che sui primi globetti altri nuovi si condensino, allorquando un vento, e forse anche uno stato elettrico, agitano in mille sensi e squacciano le nubi, le spingono le une contro le altre, è allora che si forma la pioggia. Poichè importa assai per l'agricoltura, per la ricerca dalla climatologia, per la direzione dei fiumi, delle fonti ec., di conoscere la quantità d'acqua che piove sopra una determinata superficie di terreno, si sono immaginati istrumenti onde misurarla.

Il *pluviometro* (*Fig.* 41) è un vaso cilindrico di circa 20 centimetri di diametro ed alto 30, aperto in alto, terminato in basso da un tubo *c d* che si ripiega in alto, e che è diviso in centimetri ed in millimetri. Vi è a metà del cilindro un diaframma *a* ad imbuto, che impedisce l'evaporazione dell'acqua raccolta nel fondo del recipiente. Basta di leggere l'altezza dell'acqua nel tubetto per sapere quant'acqua è piovuta, o la grossezza dello strato di pioggia.

Eccovi i risultati principali della molte osservazioni fatte sopra le diverse quantità di pioggia che cadono ne' vari paesi e nelle varie stagioni. La quantità di pioggia che cade in un anno cresce andando dal polo all'equatore; in generale è maggiore nelle stagioni calde che nelle fredde. Le osservazioni di Parigi danno per l'estate **161mm**, per la primavera 174*mm*, per l'autunno 122*mm*, e 107*mm* per l'inverno. Ordinariamente cade più acqua sui monti che nelle pianure circonvicine. All'ospizio del Monte S. Bernardo cade il doppio di acqua, fra pioggia e neve, di quella che cada a Ginevra. Non è però in tutti i paesi che le stagioni più piovose si trovano ancora le più calde: in Italia la stagione d'autunno è generalmente la più piovosa.

Un'osservazione curiosa si è fatta all'Osservatorio di Parigi: raccogliendo l'acqua in due pluviometri posti ad un'altezza diversa, a 28*met.* l'uno dall'altro, si è trovato nella stazione più bassa una quantità di pioggia maggiore di quella caduta nella stazione più alta. La spiegazione di questa differenza vorrebbe trovarsi nell'accrescimento delle gocce, prodotto dai vapori cha vi si condensano sopra.

Sarebbe importante di studiar bene tutte le circostanze che accompagnano alcune piogge molto abbondanti: nel giorno 25 ottobre 1822 caddero a Genova 82 centimetri d'acqua, quantità che supera la metà della quantità media che piove in tutto l'anno.

Quando la condensazione del vapor acqueo si fa in regioni molto elevate e quindi ad una temperatura assai bassa, invece di nubi o di pioggia si forma neve. Può prodursi artificialmente la neve introducendo in una sostanza molto calda e di cui l'aria sia satura di vapore, l'aria esterna assai fredda: si formano gocce d'acqua congelata.

È ammesso generalmente, che la temperatura alla quale le nubi si convertono in neve sia assai più bassa dello zero. Ignoriamo ancora tutte le circostanze necessarie alla formazione dei fiocchi o gruppi di cristalli che compongono la neve. È molto probabile che questi si formino e s'ingrossino congelando il vapor acqueo che incontrano negli strati d'aria attraverso dei quali cadono. È certo che la congelazione del vapor acqueo sparso nell'atmosfera produce un ghiaccio, che è ben diverso da quello che si forma quando l'acqua liquida si fa solida. Nel primo caso si hanno tutte le apparenze della neve. Dobbiamo al Capitano Scoresby delle curiose osservazioni fatte nelle regioni polari, sulla forma che presentano i fiocchi di neve. Delle tante e variatissime forme di fiocchi di neve, che sono disegnate nella di lui Opera, ve ne sono alcune rappresentate nella *Fig.* 80.

In tutti i luoghi in cui la neve esiste perpetuamente, si trova spesso della neve rossa: ai poli, sulle Alpi, questo fenomeno è quasi costante. Baûer ha mostrato con e-

sperienze dirette, che la causa della colorazione della neve era un piccolo fungo (*Uredo nivalis*) che ha la curiosa proprietà di vegetarvi sopra.

Devo parlarvi finalmente della rugiada. Nelle notti molto serene, in cui l'aria è tranquilla, si coprono di gocce d'acqua e specialmente al mattino, tutti quei corpi che non sono coperti da edifici o da ripari, e che malamente conducono il calore. Le paglie, le foglie, i metalli specialmente se sono anneriti con vernici, sono i corpi più propri a coprirsi di rugiada: tutte quelle circostanze che sappiamo favorire l'irraggiamento del calore in un corpo, lo rendono proprio a più facilmente coprirsi di rugiada. Se la notte è molto fredda, la rugiada si fa solida: è la *brina* che allora si forma. Il Dottor Weis ha dato, sono molti anni, la spiegazione meglio fondata di questi fenomeni: tutti i fatti in seguito scoperti hanno servito a confermarla. Ricordatevi ciò che si è detto dell'irraggiamento notturno: un corpo esposto all'aria nella notte irraggia calore, e la sua temperatura s'abbassa perchè riceve in compenso raggi calorifici dall'atmosfera che è ad una bassissima temperatura. L'aria a contatto del suolo si raffredda, il vapore che contiene si condensa, e si depone liquido sui corpi. Provate ad esporre un termometro all'aria in una notte molto serena, e un altro simile coperto con una tavola o una tela qualunque a guisa d'ombrello: il primo indicherà sempre una temperatura molto bassa in confronto dell'altro. Disponete una serie di termometri a poca distanza l'uno dall'altro, cominciando da uno che tocchi il suolo: fate l'osservazione in una notte serena, e vedrete che il termometro inferiore, che è a contatto del suolo, indica una temperatura di molti gradi inferiore di quella dei termometri che gli stanno sopra. In questa sola circostanza si trova che la temperatura cresce per un'altezza di pochi piedi a misura che si sale: oltrepassata questa elevazione, la temperatura comincia a decrescere come abbiamo visto accadere, e decresce fino alle maggiori altezze. È facile di spiegarsi in qual modo operano le circostanze favorevoli alla formazione della rugiada. Se l'aria è agitata, nuovi strati d'aria, non più saturi di vapore, sono messi a contatto dei corpi freddi, e intanto i primi, in cui il vapore era quasi condensato, vanno a disperdersi altrove. Se l'irraggiamento è impedito o dagli alberi, o dalle nubi, o da grandi edifici, la rugiada non può più formarsi.

Una parola infine sulle variazioni della pressione atmosferica, e sui venti. Descrivendovi il barometro ed esponendovi la teoria di quest'istrumento, vi parlai delle variazioni periodiche e diurne della colonna barometrica. Vi sono nel giorno due massimi e due minimi nell'altezza del barometro: le ore di questi periodi sono invariabili all'equatore. L'altezza media nel giorno è sensibilmente quella del mezzogiorno e mezzo nei nostri climi: ai tropici quest'ora è alquanto più tardi. All'equatore le variazioni del barometro sono le più piccole possibili, e ai poli le massime. Para che le variazioni periodiche nella pressione atmosferica indichino una corrispondente variazione nell'altezza del livello del mare. Secondo Aimè, all'abbassarsi del barometro salirebbe il livello del mare.

Oltre a queste variazioni periodiche del barometro, ve ne sono di quelle che dipendono da cagioni accidentali. È provato da molte osservazioni, che la colonna barometrica s'abbassa allorchè soffiano venti caldi, e s'innalza pei venti freddi. Spesso il barometro s'innalza quando il cielo si rasserena e s'abbassa allorchè si fa nuvolo e s'avvicina una burrasca. È facile intendere come il trasformarsi di una nube in pioggia possa produrre un innalzamento del barometro: la sua colonna s'alleggerisce di tutto il peso dell'acqua che cade. In questo caso, l'indicazione del barometro è tutt'altro che un preludio del cangiamento dell'aria, l'effetto che vorrebbesi indicatore, segue e non precede. Sovente accade che la diminuzione di pressione viene dal trasporto rapido dell'aria in un altro punto: la rarefazione che così succede è causa di raffreddamento, e perciò di formazione di nubi e pioggia. E siccome deve spesso esser questa la cagione della formazione delle nubi, specialmente nelle burrasche, è raro che un rapido abbassamento del barometro non indichi un gran cambiamento del cielo.

Oltre queste variazioni della pressione atmosferica, vi sono dei venti che soffiano regolarmente in certe direzioni e in certe ore del giorno. Lungo le coste del mare soffia costantemente un vento, che al mattino è diretto dal mare alla terra, e alla sera va in una direzione contraria: col favore del primo le navi entrano nei porti, col secondo fanno vela per escire. Sotto la zona torrida regnano venti, detti comunemente *mussoni*, i quali soffiano in un senso per sei mesi dell'anno, ed in un senso contrario per gli altri sei mesi: soffiano, in generale, dal nord-est o dal nord-ovest, o in direzioni opposte. Raramente si propagano secondo le linee dirette dal sud o dal nord, o dall'est e dall'ovest.

Vi sono infine nell'interno dei grandi

mari e assai lungi dalle coste, de'venti detti *alisèi*, che vanno dall'est all'ovest costantemente, estendendosi da ogni lato dell'equatore.

Si deve a Saigey la spiegazione più semplice e più soddisfacente, fra le molte che si son date, dei periodi barometrici e dei venti regolari. Consideriamo nell'atmosfera degli strati di eguale elasticità; se la temperatura cangia egualmente per tutti i punti della terra e dell'atmosfera, sussisteranno per le colonne d'aria le condizioni primitive d'equilibrio. La superficie di un vasto continente può rappresentarsi come una serie di piani, che gradatamente partendo dal livello del mare s'innalzano gli uni sopra gli altri. Sono perciò diverse l'altezze delle colonne d'aria che riposano sopra i diversi piani. Allorchè l'aria vien riscaldata nel giorno, la dilatazione è diseguale per le diverse colonne d'aria che riposano sopra i diversi piani: le colonne più elevate che toccano i punti più bassi s'innalzano maggiormente delle altre. V'è dunque disequilibrio alla base di queste colonne, l'aria deve salire dal basso verso il continente elevato, il vento soffierà dal mare verso terra. Accade il contrario allorquando l'aria, verso sera, comincia a raffreddarsi: le colonne più contratte sono le più elevate, e perciò l'aria scenderà dalle ultime sulle prime, vi sarà vento dalla terra al mare. Le variazioni periodiche del barometro osservato ad una media altezza dal suolo sono una conseguenza di questi principi: l'altezza massima avviene alle 9 ore del mattino, cioè quando la temperatura è la media del giorno. Alzandosi od abbassandosi la temperatura, cioè verso le 3 del giorno e le 4 del mattino, l'aria si porta o verso i luoghi elevati, o scende verso i bassi, e nel due casi la pressione diminuisce.

Flaugergues e Bonvard hanno stabilito, con una lunga serie di osservazioni, che vi sono per l'atmosfera dei fenomeni analoghi al flusso e riflusso dei mare.

Indipendentemente dai venti che soffiano periodicamente, ve ne sono nell'atmosfera, e molto spesso, che diconsi *occidentali*, i quali soffiano ora in una direzione or nell'altra, che talvolta sono appena sensibili, tal altra hanno la velocità di 30 leghe per ora: questi ultimi sono gli *uragani*, capaci di svellere gli alberi dalle radici e di rovesciare gli edifizi. I più violenti fra questi uragani diconsi per *aspirazione*, essendosi trovato che nel propagarsi si fanno sentire risalendo verso il punto da cui soffiano: è il caso di quei vento, che può prodursi aprendo prontamente un soffietto. Sembra che spesso questi venti impetuosi si debbano al rapido condensarsi del vapore sparso nell'aria: il vuoto che così si forma, vi chiama l'aria con violenza da tutti i lati.

Fra i più singolari e temibili movimenti dell'aria, è quello che chiamasi *tromba*, *tifone* o *tornado*. Questo fenomeno avviene in mare e sulla terra. È una nube a cono rivolto col vertice in basso, agitata da un movimento dei più violenti, animata da una velocità di traslazione qualche volta grandissima, e nella quale si sollevano la polvere, i sassi e l'acqua del mare. Dei forti scoppi accompagnano l'apparizione delle trombe, e qualche volta dei lampi. È costume dei marinari, di scaricare contro le trombe alcuni colpi di cannone per dissiparle. Espy è il Fisico che ha meglio studiato la produzione di questa meteora. Egli ha stabilito, 1.° che il movimento dell'aria circostante è diretto da tutti i lati verso il centro della tromba; 2.° che il barometro vi è grandemente depresso nell'interno; 3.° che v'è nel centro una corrente d'aria ascendente; 4.° che ad una certa altezza si forma nella colonna d'aria che sale una nube, che poi si spande circolarmente ai lati convertendosi in pioggia e grandine. Espy pensa che per la produzione di una tromba sia necessario uno strato molto esteso di aria umido e caldo, nel quale avvenga per una causa qualunque, per una diminuzione di densità locale, una corrente ascendente. In tal modo il vapore dell'aria sollevata si converte in nube, si fa liquido, e questo passaggio produce tanto sviluppo di calore, da riscaldare la colonna d'aria e da accrescerne la forza ascenzionale. Secondo Espy la tromba si produce, come in un tubo di un fornello, una corrente d'aria, la quale è tanto più veloce quanto più è alto il tubo. Il fenomeno viene così spiegato indipendentemente dall'elettricità, a cui invece Peltier vorrebbe che fosse affatto dovuto.

OTTICA

FENOMENI DELLA LUCE.

LEZIONE LXXXVI.

Ipotesi sulla Luce. — Raggi luminosi. — Direzione in cui si propaga la luce. — Ombra. — Velocità della luce. — Intensità della luce. — Fotometria.

Lo studio de' fenomeni del calore e delle proprietà generali dei corpi, dei cangiamenti di stato e di densità che avvengono in questi secondo la varia intensità dell'agente calorifico, dei diversi stati di equilibrio delle molecole ponderabili, principalmente mostrati dai movimenti vibratori che esse possono prendere, ci ha condotti ad ammettere l'esistenza di uno o più corpi imponderabili. I fenomeni dell'elettricità, quelli del calore, e finalmente quelli della luce che cominciamo a studiare, ci guidano tutti a questa ipotesi. Allorchè si pensa, che per quanto sia varia l'intensità con cui questi agenti operano, per quanto diversi gli effetti che essi producono nelle proprietà dei corpi ponderabili, nelle loro azioni reciproche, rimane sempre inalterata la proprietà caratteristica della materia, il suo peso; quando si osserva che queste forze operano tutte in un modo più o meno passeggiero, che tutte lasciano sempre una via onde ricondurre il corpo al suo primo stato, che tutte agiscono generalmente con una rapidità grandissima, non possiamo astenerci dal considerare questa ipotesi come quella che superiormente a tutte conviene allo stato attuale delle Scienze Fisiche.

Voglio dirvelo sin d'ora: è specialmente ai fenomeni luminosi che questa ipotesi si applica più convenientemente, ed è anzi partendo da questi che si è estesa agli altri. Importerebbe perciò moltissimo di studiare con estensione la teoria della luce, poichè da questa ci sarebbe dato di scoprire come possa estendersi alle altre teorie fisiche. Allorchè parlandovi dell'elettricità, ho insistito sulla necessità di sciogliersi dal vincolo delle ipotesi, ho inteso parlarvi di quelle che si riferivano a quella parte della Fisica e che ancora si accreditano nei Trattati, e non mai di distogliervi dalla ricerca di quei principi generali, che, quantunque ipotetici, abbracciano insieme tutte le teorie della Fisica. Tutti gli sforzi nostri mirano e devono sempre mirare a questo fine: è là che la vera scienza risiede. La scoperta di un agente universale, che, modificato nella sua azione dalla materia ponderabile, sia capace di diversi modi di agire, e così ci spieghi ad un tempo i fenomeni calorifici, luminosi ed elettrici, sarebbe la più grande alla quale oggi la Scienza potesse aspirare. I fenomeni luminosi son quelli che per eccellenza ci hanno aperta la strada per farla. Vorrei perciò potermene lungamente ed estesamente occupare con voi. Se non che m'arresta in que-

sto desiderio una difficoltà apparentemente strana. La teoria della luce è certamente la più avanzata di tutte quelle della Fisica, e le ragione n'è evidente. I fenomeni ottici si studiano coi più perfetto dei nostri sensi; dipendendo in generale da elementi facili e misurarsi, siccome sono le linee e gli angoli, possono perciò essere sottoposti al calcolo, venire studiati geometricamente. Ecco perchè la teoria della luce s'è innalzata al grado delle teorie fisiche matematiche ed ecco nel tempo stesso la regione perchè mi è vietato di esporvela con tutta l'estensione. Mi confido però di potermi estendere abbastenza, da farvi apprezzare come la teoria della luce abbia giovato al progresso generale della Fisica: nè vi tacerò i fatti più importanti, gl'istrumenti i più utili dell'Ottica.

La più semplice osservazione dei fenomeni della luce, ci prova che vi sono alcuni corpi in natura, i quali in certe circostanze prendono quello stato, che chiamiamo *luminoso*, che ve ne sono altri che in questo stato persistono costantemente, che molti divengono luminosi per la presenza dei corpi che già lo sono. Una fiamma, il sole, la lune e gli specchi che riflettono la luce solare o quella delle fiamme, sono gli esempi di questi diversi stati luminosi dei corpi.

V'è pure un grandissimo numero di fatti che indicano doversi ad un solo agente i fenomeni del calore è quelli delle luce. Ed invero nel maggior numero dei casi questi due agenti si svolgono insieme, s'accompagnano quasi sempre nelle loro azioni; e bencbè vi sieno esempi di corpi luminosi e non caldi, come il fosforo, i vermi lucenti, le pietre fosforescenti, non se ne può conchiudere altro, se non che le due classi dei suddetti fenomeni posson esistere separatamente, senza che per ciò venga negate assolutamente l'identità delle cagioni da cui la luce ed il calore dipendono. Si considera il movimento ondulatorio dell'etere come la causa dello stato luminoso e calorifico dei corpi: è questo il principio della famosa teorie delle ondulazioni.

Un corpo luminoso vibra, come abbiamo visto fare a un corpo sonoro, ma con una rapidità assai più grande di questo: le vibrazioni delle sue molecole si comunicano all'etere, si propagano in questo fluido; si diffondono in onde eteree, le quali agendo sui nostr' occhio producono la sensazione della luce. Queste onde, dipendenti dalle vibrazioni più o meno rapido che le hanno generate, sono più o meno lunghe; e nello stesso modo che nelle differenze di lunghezza delle onde sonore consistono i diversi toni delle onde sonore, anche nelle varie lunghezze delle onde luminose stanno le sensazioni dei raggi luminosi di diverso colore. Delle differenze più grandi in queste lunghezze delle onde eteree, possono produrre una impressione sui nostri sensi diversa da quelle della luce. Queste onde più lunghe produrrebbero il calore.

Ritorneremo, dopo aver esposto i fenomeni luminosi più importanti, sopra questo soggetto: basti il cenno che ve n'ho dato, per indicarvi il fondamento della teoria delle onde luminose. Invece di questa ipotesi si era ammesso sin qui, che la luce fosse un corpo formato di parti tenuissime lanciate dei corpi luminosi, *emessa* a grandissima distanza con grande rapidità. In questa ipotesi convien supporre tante sostanze diverse, quanti sono i raggi di diverso colore. Vedremo più innanzi come la ipotesi dell'emissione sia contraddetta da molti fatti, e come manchi di quella generalità, che è pure uno dei caratteri di une Teoria Fisica.

Il fatto principale, o quello almeno che si mostra il primo nello studio dei corpi luminosi, è la proprietà posseduta da questi corpi di spander luce in tutte le direzioni, di diffonderla in tutti i sensi e di propagarla in tante linee rette, che son quelle che chiamiamo *raggi luminosi*, le quali non son altro che le direzioni in cui l'illuminazione si fa. Se vediamo qualche volta la luce abbandonare la linea retta, propagarsi incurvandosi, ciò non accadrà mai senza circostanze speciali e proprie del mezzo in cui essa scorre. Dirigete sopra un corpo luminoso un tubo leggermente incurvato applicato al vostro occhio, e vi sarà impossibile di vederlo. Fate un foro sottile in tre diverse lamine metalliche o di una sostanza qualunque non trasparente, e disponetele l'una dopo l'altra parallelamente ad una certa distanza fra loro: non vi sarà mai dato di scorgere un raggio luminoso attraverso ai tre fori, se non sono questi perfettamente in linea retta. Introducete un raggio di luce in una stanza oscura, ed il polviscolo natante nell'aria vi traccerà la linea retta che il raggio luminoso percorre.

Per questa legge della propagazione della luce s'intende come debba necessariamente formarsi l'*ombra* di dietro ad un corpo illuminato, e come quest'ombra debba esser simile alla sezione del corpo che la produce, allorchè è ricevuta sopra un piano perpendicolare alla direzione dei raggi emanati dal corpo luminoso. Immaginate infatti che un piano indefinito, tangente al corpo luminoso ed all'orlo del corpo *opaco* che gli viene presentato, scorra lungo tutto l'orlo dei corpo. È chiaro che da questo movimento risulterà la traccia di uno spazio che se-

parerà la luce dall' oscurità: sarà la traccia dell'ombra, e sarà ancora quella della sezione del corpo opaco. Dobbiamo a questa proprietà la spiegazione dei fenomeni dell'ecclisse: la luna attraversa talvolta l'ombra della terra: l'ombra di questo satellite sopra la terra forma ancora l' ecclissi del sole. Vi sono però alcune circostanze, che studieremo, per le quali il fenomeno dell'ombra non è tanto semplice quanto lo sembra sin qui: vedremo in seguito che conviene distinguere l'ombra *geometrica* dalla *fisica*.

Il principio generale delle propagazioni della luce ci spiega ancora quei fenomeni che avvengono presentando ai raggi luminosi un diafragma avente una piccola apertura. Se è un raggio solare che è presentato al foro, si vede, raccogliendo il raggio che è passato sopra un diafragma bianco, un circolo che si va allargando di diametro a misura che si tiene il diafragma più lontano dal foro. I raggi che partono da tutti i punti dell'astro attraversano il foro, e continuano la loro strada in linea retta sino a che giungono sul diafragma: in questa guisa ogni punto del sole ha sul diafragma il suo punto corrispondente: il circolo che vi si dipinge è realmente l'*immagine* o la rappresentanza del disco solare. E difatti se si fa quest'osservazione in tempo d'eclisse, l'immagine non è più rotonda; è quella del sole eclissato. Si può anche fare quest'esperienza con una candela i di cui raggi si raccolgono sopra un diafragma in una stanza oscura dopo aver traversato un foro. In questo caso viene a dipingersi sul diafragma l'immagine rovesciata della candela; questa immagine deve necessariamente ingrandirsi crescendo la distanza a cui è ricevuta sul diafragma, e nello stesso tempo divenire meno illuminata. Tutti gli oggetti esteriori possono vedersi in una stanza buia facendovi entrare i raggi da un piccolo orifizio: così si rendono nelle notti visibili le stelle del cielo, e nel giorno i paesaggi, che sono però costantemente rovesciati. I raggi luminosi che vengono da tutti i punti del corpo splendente, traversano il foro e seguitano in linea retta; il foro diviene in questa guisa l'apice d'un cono luminoso che si estende dalle due parti, cioè da una parte sull'oggetto luminoso, dall'altra sul diafragma. La sezione di questo cono fatta dal piano del diafragma è l'immagine che veggiamo proiettata, la quale deve necessariamente esser simile all'oggetto, e rovesciata.

Nel caso in cui è un fascio di luce solare quello che traversa il foro e di cui l'immagine si riceve ad una certa distanza, s'intende perchè, qualunque sia la forma del foro, quest' immagine è sempre circolare o elittica se i raggi sono obliqui, e in generale simile alle porzioni illuminate del disco nel caso d' eclissi. Ciò si osserva quando l'immagine solare formata sul suolo è prodotta passando i suoi raggi attraverso agl' interstizi che vi sono fra le foglie degli alberi. Tutti i punti dell'astro mandano un fascio di luce che ha la forma del foro: ma queste immagini sono riunite l'una presso all'altra, e son tante quante i punti del disco: quindi l' immagine ricevuta ad una distanza assai grande rispetto al diametro del foro ha il suo contorno esterno simile a quello del corpo. Il fenomeno della visione s'opera in un modo analogo: i raggi luminosi partono dal corpo illuminato, entrano nel nostr'occhio dopo aver traversata la pupilla, che è un foro della membrana esterna dell' occhio, e per una disposizione che impareremo fra poco, son riuniti e vanno a convergere in un punto della retina o del sistema nervoso.

La ricerca della velocità colla quale la luce si propaga è la seconda di cui dobbiamo occuparci, dopo quella della sua direzione. In tutti i fenomeni luminosi osservati sulla superficie della terra, la velocità della luce sembra infinita. Per quanto sieno grandi le distanze, non si scorge tempo sensibile fra l'apparire di un corpo luminoso e la sensazione che ne proviamo. Le apparizioni di certi corpi celesti ci hanno offerto un mezzo per iscoprire se v'era un tempo impiegato dalla luce a percorrere un dato spazio, se insomma la velocità della luce era una quantità finita. Le osservazioni degli eclissi del primo satellite di Giove hanno posto Roemer in grado di risolvere questa questione. Sia S (*Fig.* 53) il luogo del sole, *t a b m c d* l'orbita della terra, e *s* la posizione di Giove. Supponiamo che questo pianeta sia nel piano dell'eclittica, e che il primo satellite faccia la sua rivoluzione intorno ad esso percorrendo l' orbita *h i e*. Secondo le diverse posizioni della terra possiamo osservare, ora il momento in cui il satellite si eclissa entrando, *immergendosi* nel cono d'ombra che Giove getta di dietro a sè, ora il momento in cui esce o *emerge* dall'ombra. L'intervallo di tempo compreso fra due *immersioni* o fra due *emersioni* è di certo la durata della rivoluzione del satellite. Determinando questa durata, stando nei diversi punti dell'orbita terrestre, si trovano delle differenze che di certo non possono dipendere dai movimento del satellite. Se si fa l'osservazione piuttosto in *a* che in *b*, in *d* piuttosto che in *c*, la durata della rivoluzione si trova ora più lunga, ora più corta; il satellite si nasconde prima se si guarda in *a*. di quello che avviene stando in *b*: invece emerge prima guardandolo dal punto *d* piutto-

sto che da c. È avidente che queste differenze devon essere attribuite al tempo che i raggi luminosi impiegano a passare da d in c e da a in b. Da queste osservazioni, moltissime volte ripetute, si è potuto dedurre che la luce percorre in un minuto secondo uno spazio di 80,000 leghe, e che perciò impiega 8' 13" per venire dal sole sulla terra. Il movimento apparente delle stelle ha offerto un nuovo metodo onde confermare la scoperta di Roemer ed il numero da lui trovato per la velocità della luce negli spazi planetari. Allorchè si parte da questo dato e si paragona alle grandi distanze che ci separano dalle stelle, si giunge a dei curiosi risultati sul tempo che impiegano i loro raggi luminosi a giungere sino a noi. Non v'è alcuno di questi astri che sia lontano da noi meno di 200,000 volte la distanza che v'è fra il sole e la terra: la luce di questi astri impiega non meno di tre anni per giungere sulla terra. Se fosse possibile che tutto ciò che esiste nel cielo, che gli astri del firmamento sparissero, senza alterare il nostro sistema, potremmo rimanere, dopo questa scomparsa, persuasi per molto tempo che nulla fosse accaduto.

Qual è mai quel corpo ponderabile che giunge ad avere una velocità, non dirò simile, ma nemmeno in qualche modo paragonabile a quella della luce? E se vi sono movimenti assai rapidi nei corpi ponderabili, non sono forse quelli che producono il suono e che consistono in vibrazioni?

Parliamo infine dell'intensità della luce: fra luce e luce, fra i raggi luminosi del sole e quelli di una fiamma, vi sono di certo delle grandissime differenze rispetto alla loro intensità. Chiamiamo intensità della luce la *quantità assoluta di luce* che si spande sopra l'unità di superficie del corpo illuminato, e quindi il numero che esprime l'intensità si ha dividendo la quantità di luce che cade sopra una data superficie, per l'estensione stessa di questa superficie.

Osservando un oggetto illuminato da una fiamma qualunque, il primo fenomeno che si scorge è la grande differenza nell'intensità della luce che riceve quest' oggetto secondo la sua distanza dalla fiamma: ognuno di voi sa che a pochi piedi di distanza fra la fiamma di una candela ed uno scritto, ne diviene impossibile la lettura.

L'esperienza ha provato che l'intensità della luce o la quantità di luce che riceve da una sorgente qualunque l'unità di superficie di un corpo illuminato, varia in ragione inversa del quadrato della sua distanza dalla sorgente stessa: per provarlo non si ha che a raccogliere sopra un diaframma il fascio divergente di luce che parte da un piccolo orifizio, o meglio dal foco di certi vetri di forma particolare. Si vede che la sezione di questo fascio, o la superficie illuminata del diaframma, è quadrupla quando la distanza del diaframma dal vertice del fascio è doppia: intanto l'intensità della luce è diminuita e ridotta ad 1/4, e non può essere diversamente, essendo lo stesso numero di raggi luminosi che viene sparso sur una superficie quadrupla. Ammettiamo che la luce sia trasmessa dalla sorgente al corpo illuminato senza incontrare resistenza, senza soffrire assorbimento.

In generale, chiamando 1 l'intensità della luce a 1 di distanza, quest' intensità si riduce a 1/4 alla distanza 2, a $\frac{1}{D^2}$ alla distanza D. Si fa l'esperienza che prova questa legge avvicinando due lamine di vetro pulito o due carte eguali, illuminate da due fiamme che sono poste a diversa distanza. Le due lamine illuminate sono fra loro separate da una linea nera, e l'occhio può così facilmente giudicare della luce che ricevono. In questo modo si vede, che tenendo una fiamma ad una distanza doppia di quella dell' altra, convien comporla di quattro fiamme simili, perchè le due lamine di vetro sieno egualmente illuminate. Quanto più è grande il numero dei punti luminosi della sorgente, tanto più è grande l'intensità della luce che illumina un oggetto. L'esperienza ed il ragionamento dimostrano facilmente queste leggi. Può dunque dirsi, in generale, che questa intensità è direttamente proporzionale all'area della superficie illuminante ed alla intensità della sua luce, e inversamente proporzionale al quadrato della distanza fra il corpo illuminato e l'illuminante.

V'è anche un'altra circostanza dalla quale dipende l'intensità dei raggi luminosi emessi da una fiamma o da una sorgente qualunque di luce. La luce che è emessa da un corpo luminoso non ha la stessa intensità in tutte le direzioni. Se in una camera buia si guarda da una distanza grande una palla di ferro riscaldata al grado di esser anche luminosa, non si distingue più se sia sferica o piana la sua superficie: sembra un disco illuminato. Un cilindro di ferro ridotto nello stesso modo lucente, sembra un piano. Così è del disco solare. Tutti i raggi luminosi che partono dai diversi punti della palla infocata possono considerarsi paralleli fra loro; perciò hanno tutti la stessa intensità, qualunque sieno i punti della palla da cui sono emessi. I raggi luminosi che vengono dal mezzo sono egualmente intensi dei raggi che partono dagli orli della pal-

la. Notate però, che le porzioni della superficie della palla le quali emettono dei fasci di una stessa larghezza, sono diverse e proporzionali al seno dell'angolo che fa il piano tangente alla superficie coll'asse del fascio luminoso che si considera; e poichè crescendo i punti luminosi nel soddetto rapporto, l'intensità rimane costante, conviene ammettere che questa diminuisca nello stesso rapporto con cui la superficie aumenta. L'intensità della luce è dunque proporzionale al seno dell'angolo che fa il raggio colla superficie da cui emana.

La ricerca dell' intensità della luce è di una grande importanza per l'Ottica, e lo è anche in qualche caso per alcune arti. Importerebbe assai, specialmente per l'Astronomia, di possedere un processo capace di dare la misura esatta dell' intensità di una luce qualunque; le distanze delle stelle, i periodi delle stelle cangianti, sarebbero questioni risolute, se l'intensità della luce fosse facile a conoscersi e a misurarsi.

Siamo sin qui ben lungi dall' avere questo processo: mi limiterò ad accennarvi alcuni dei mezzi, così detti *fotometrici*, che abbiamo. V'è un fotometro di Leslie (*Fig.* 6) che consiste in una specie di termoscopio differenziale, di cui uno dei bulbi è annerito, e l'altro dorato.

L' intensità della luce è misurata dall'eccesso di riscaldamento del bulbo nero sopra l'altro che è coperto di metallo. Il fotometro di Leslie adunque è fondato sopra la proporzionalità fra gli effetti caloriſici e i luminosi che son prodotti dalle sorgenti di luce; questo principio è però contraddetto da un grandissimo numero di fatti, e non è che in pochissimi casi che può adoperarsi quell'istrumento, contentandosi di risultati approssimativi.

Un fotometro molto semplice si fa riunendo due tubi di latta anneriti internamente e chiusi da una parte con una carta o con una lastra di vetro. Si presentano ai due opposti orifizi dei due tubi le due sorgenti di luce di cui le intensità si vogliono paragonare; facendo variare le loro distanze si cerca di ridurle al punto che le due fiamme illuminino egualmente i due dischi di vetro o di carta che chiudono gli orifizi dei due tubi. Il rapporto delle intensità è l'inverso dei quadrati delle distanze: sieno i ed i' le intensità delle due luci all'unità di distanza, *d* e *d'* le distanze loro dalle lamine di vetro che illuminano: si avrà

$$\frac{i}{d^2} = \frac{i'}{d^2}, \text{ da cui } \frac{i'}{i} = \frac{d'^2}{d^2}$$

Rumford confrontava le intensità di due fiamme paragonando le ombre che producono. Allorchè due corpi luminosi illuminano nello stesso tempo una stessa superficie, un vetro spulito, una carta, se s'interpone un corpo opaco, si formano sul vetro due ombre disegualmente nere secondo le varie intensità delle luci dei due corpi. È evidente che uno dei corpi luminosi spande i suoi raggi sopra l'ombra dovuta all'altro: per cui se si fanno variare le distanze dei due corpi luminosi a modo che sieno eguali le due ombre, le intensità delle loro luci prese a queste distanze diverse saranno eguali o quindi misurate dal suddetto rapporto delle distanze.

Vi citerò alcuni dei risultati più curiosi delle osservazioni di fotometria di Leslie, Rumford, Wollaston ec. Se si chiama 100 l'intensità della luce di una candela appena accesa, si trova dopo 11' che questa intensità è espresse da 39, e dopo mezz'ora non è più che 16. Allora tagliando lo stoppino, l'intensità torna a 100. Un lume ad Argand a doppia corrente d'aria, dà una luce che è 9 volte più intensa di quella di una candela ordinarie. Wollaston paragonando lo splendor del sole a quello della luna, ha trovato che erano fra loro nel rapporto di 800000 a uno.

LEZIONE LXXXVII.

Riflessione della luce. — Leggi della riflessione della luce. — Foco degli specchi sferici. — Immagini prodotte dalla riflessione. — Refrazione della luce, e sue leggi. — Angolo limite, e riflessione totale. — Miraggio.

Sinchè un fascio di raggi luminosi si propaga in un mezzo di cui la densità non varia, la strada che segue è quella di una linea retta: la direzione rettilinea dei raggi luminosi è la legge fondamentale della propagazione della luce. Non è più così se un corpo qualunque è messo sulla strada del fascio luminoso. Secondo che questo corpo è opaco o trasparente, v'è una porzione più o meno grande di luce che penetra nel corpo e lo attraversa, e ve n'è un'altra che è rimandata al di fuori. Parliamo prima di questa seconda. Mentre la stanza è buia, fo entrare un raggio di luce solare da un orifizio praticato nello scuro della finestra. Una lastra d'acciaio, un vetro coperto di una fo-

glia di stagno, la superficie di una massa di mercurio, un marmo, incontrano questo raggio. Sia inclinato il fascio luminoso alla superficie che incontra. Due fenomeni si osservano in questo esperimento: 1.º v'è un fascio di luce che sembra partire dallo specchio in una direzione determinata, e che incontrato con un diaframma di seta o con una carta, dà l'immagine del disco solare: questo fascio è di una intensità tanto più grande, quanto più è levigata la superficie su cui il raggio cade: il fascio così rimandato dallo specchio si dice *riflesso regolarmente*: 2.º da tutti i lati della stanza si scorge il punto dello specchio sopra cui cade il fascio *incidente*: sonovi dunque dei raggi dispersi in tutti i sensi, riflessi irregolarmente, e questi son tanto più intensi, quanto meno il corpo è levigato. È assai semplice la legge con cui si fa la riflessione regolare: il raggio incidente e il raggio riflesso sono situati sopra uno stesso piano normale alla superficie riflettente, i due raggi sono egualmente inclinati a questa superficie, e quindi l'angolo d'incidenza fatto dal raggio colla normale al punto dello specchio su cui cade, è eguale all'angolo di riflessione fatto dal raggio riflesso colla stessa normale.

Queste leggi della riflessione regolare son dimostrate con tutto il rigore da una esperienza, che gli Astronomi ripetono spesso con istrumenti della massima precisione. Intorno ad un gran circolo verticale $v\,v'$ (*Fig.* 55) si muove un cannocchiale i con cui si osservano le stelle. Si comincia da fare una prima osservazione colla luce diretta $e\,d$, e se ne fa una seconda colla luce stessa $e'\,i\,r$ che è riflessa sopra la superficie di una massa di mercurio: l'angolo $d\,c\,p$ è trovato costantemente eguale all'angolo $p\,c\,o'$. Poichè le verticali $c\,p\,p'\,i$ sono necessariamente parallele, e siccome son pure paralleli i raggi che vengono da una stella, è evidente che gli angoli $d\,c\,p\,p\,c\,o'$ sono rispettivamente eguali agli angoli $e'\,i\,p'$ e $p'\,i\,r$, i quali sono per conseguenza eguali fra loro. È pur evidente che il piano di riflessione $p\,i\,r$ coincide col piano $e'\,i\,p'$ di incidenza.

Questa legge si verifica qualunque sia la sorgente del fascio luminoso: la luce della scintilla elettrica, quella delle fiamme, tutto si riflettono regolarmente, facendo l'angolo d'incidenza eguale a quello di riflessione.

Se invece di esser piana la superficie del corpo su cui la luce si riflette, fosse curva, il raggio riflesso non varierebbe di posizione: la riflessione si farebbe come sopra il piano tangente al punto di incidenza. Per cui, immaginando di dirigere sopra uno specchio sferico concavo (*Fig.* 2) dei raggi paralleli, questi vengono riflessi in modo da incrociarsi o da convergere in un punto F, che dicesi *foco* principale dello specchio collocato alla metà del raggio dello specchio. Oltrepassato questo punto divergono i raggi in tutti i sensi. Da ciò l'uso degli specchi per raccogliere la luce, e il calore che l'accompagna, nei raggi solari. È ancora per mezzo di specchi concavi che si cerca di diffondere a grandi distanze la luce, impedendone la divergenza e rendendone i suoi raggi paralleli. Al foco di uno specchio concavo si colloca la sorgente luminosa, e in questo modo i raggi che incontrano la superficie curva sono rimandati in un fascio di raggi paralleli, che perciò non perdono d'intensità, conservando sempre la stessa sezione, non essendo divergenti fra loro. Se lo specchio fosse convesso, i raggi paralleli sarebbero riflessi in modo, che supponendo di prolungarli al di là dello specchio, anderebbero a riunirsi in un punto, posto, come il foco dello specchio concavo, alla metà del raggio dello specchio. Il foco degli specchi convessi non è dunque reale, e si dice perciò *virtuale*.

Le leggi della riflessione ci spiegano come gli specchi piani producono le *immagini* degli oggetti, e come queste immagini sieno sempre *simetriche* agli oggetti stessi rispetto al piano dello specchio. Si vede nella costruzione disegnata nella *Fig.* 56, come gli oggetti presentati ad uno specchio piano compariscono al di sotto dello specchio rovesciati. Da tutti i punti dell'oggetto si abbassino delle perpendicolari sopra il piano dello specchio, e si prolunghino queste al di sotto per un tratto lungo quanto lo è il tratto dello specchio ai diversi punti dell'oggetto. L'insieme delle estremità delle perpendicolari prolungate forma l'immagine simetrica, la quale è osservata dal nostro occhio posto in o. I raggi riflessi sullo specchio sono prolungati al di sotto del medesimo: essi entrano nella pupilla come se partissero dai punti $g'\,b'\,s'$ dell'immagine. È questo il fenomeno che presentano tutte le acque. Il cielo, le case, gli alberi, vi si veggono dipinti e come rovesciati. Allorchè un oggetto è posto fra due specchi paralleli, le due immagini che vi si formano producono altre due immagini, e queste altre due e così di seguito. Cotali immagini perdono successivamente d'intensità, e quindi quelle che appaiono le più lontane sono quelle che appena rimangono visibili. Prendendo per oggetto un disco tinto sulle due facce con due colori diversi, si veggono le immagini alternativamente di un colore e dell'altro. Invece di tener paralleli i due specchi, posson tenersi inclinati, e in questo caso il

numero delle immagini dipende dall'angolo che fanno fra loro gli specchi. È sopra questo principio che si fonda il *caleidoscopio* di Brewster.

Se l'oggetto è presentato ad uno specchio concavo, l'immagine varierà di grandezza e di posizione secondo la sua distanza dallo specchio. Quando l'oggetto si trova ad una distanza minore della distanza focale, l'immagine dell'oggetto è diritta e più grande dell'oggetto stesso: l'immagine è rovesciata e più piccola dell'oggetto quando la distanza è maggiore della focale. Cogli specchi convessi l'immagine è sempre più piccola dell'oggetto, e diritta.

Bouguer e in seguito Arago e Fresnel, hanno cercato di determinare il rapporto fra la quantità della luce che cadeva sopra la superficie di un corpo e quella che era regolarmente riflessa. I risultati delle esperienze di questi Fisici sono i seguenti: 1°. sotto la stessa incidenza e per un dato corpo, la quantità di luce che è regolarmente riflessa, cresce a misura che la sua superficie si fa più levigata; 2.° è varia questa quantità da corpo a corpo; 3.° per un dato corpo, questa quantità cresce a misura che il raggio incidente s'avvicina alla superficie riflettente. Basta di tener un foglio di carta o una lamina di vetro vicini all'occhio in modo da ricevere i raggi riflessi, che cadono facendo un angolo grande d'incidenza, per vedere delle immagini nette, come sopra uno specchio. Per l'acqua, la differenza nella quantità di luce riflessa regolarmente secondo la varia inclinazione, è grandissima: chiamando 1000 l'intensità dei raggi che cadono sotto un angolo 0°, 30' colla superficie sopra l'acqua, 700 esprime l'intensità della luce riflessa; per un angolo di 60°, l'intensità dei raggi riflessi è espressa da 18.

Veggiamo ora quello che accade ad un fascio di luce che si presenta ad un corpo e lo attraversa. Eccovi il solito fascio di luce che nella stanza buia dipinge da sè la strada retta percorsa nell'aria. Un diaframma di carta o di seta lo incontra, e un dischetto luminoso è la traccia o la sezione di questo fascio. Presento una massa d'acqua contenuta in un recipiente di vetro al raggio, ed all'istante veggo il fascio deviato dalla sua posizione: i suoi raggi fanno un angolo colla prima direzione. Vedete in quest'esperienza la nuova immagine prodotta dal raggio che ha attraversato l'acqua, non solo deviata, ma estesa e composta di vari colori. Studieremo più innanzi questi fenomeni. Limitiamoci per ora allo studio della sola deviazione.

Questa deviazione dicesi *refrazione* della luce. Il raggio *refratto*, deviato appena entra nel nuovo mezzo, lo percorre in linea retta come percorreva il primo. Il fenomeno della refrazione può rendersi sensibile con molte osservazioni assai semplici. Un bastone immerso nell'acqua, vi sembra troncato. Un corpo qualunque in fondo ad un recipiente, sembra rialzato appena vi si versa dell'acqua.

Per intendere le leggi della refrazione, indichiamo con la linea *l i* (*Fig.* 40) il raggio incidente che dall'aria entra in una massa d'acqua: *n i l* è l'angolo d'incidenza. Si prolunghi la normale *i n* sino ad *n'* nell'acqua. Il raggio *l i* non prosegue in linea retta, ma devia invece accostandosi alla normale: il raggio *r i* è il raggio refratto, che è pure una linea retta che fa colla normale *n n'* un angolo *n' i r* detto angolo di *refrazione*.

In generale si trova, che se il raggio luminoso penetra da un mezzo meno denso ad uno più denso, si accosta alla normale al punto d'incidenza, e che invece se ne allontana se il mezzo in cui entra è meno denso. Vedremo in seguito che vi sono dei corpi nei quali un raggio si divide in due, e in questi casi dicesi che la refrazione è *doppia*: per ora parliamo della refrazione *semplice*. Le leggi della refrazione semplice sono le seguenti: 1.° il raggio incidente e il refratto sono nello stesso piano; 2.° il rapporto fra il seno dell'angolo d'incidenza e quello dell'angolo di refrazione è costante per gli stessi corpi, qualunque sia l'incidenza: è questo rapporto $\frac{\text{Sen. Incidenza}}{\text{Sen. Refrazione}}$ che dicesi indice di refrazione; 3.° se il raggio refratto retrocedesse dal mezzo più denso al meno denso, percorrerebbe esattamente la stessa strada che ha seguita all'entrare.

L'indice di refrazione si trova assai diverso secondo i vari corpi: se un raggio entra dall'aria nell'acqua, il rapporto o indice è $^4/_3$: questa frazione significa che sotto qualunque incidenza, il seno dell'angolo d'incidenza sta al seno dell'angolo di refrazione come 4: 3. Se è 4 il seno del primo angolo, è 3 il seno dell'altro: raddoppiando, triplicando il primo, anche il secondo si raddoppia o si triplica; la legge è che il rapporto fra il seno dei due angoli è costante, e che è espresso da $^4/_3$ per l'aria e l'acqua. Sarebbe diverso per altri corpi, ma sempre costante sotto le varie incidenze.

Descartes, che è lo scopritore di questa importante legge dell'Ottica, vi giunse adoperando un vaso di vetro composto di due dischi riuniti con una lamina alla periferia, e pieno d'acqua. Uno dei dischi è graduato, e porta sull'orlo un'appendice munita di un

orifizio per cui si fa entrare il raggio a modo che vada a cadere sul centro del disco. Il raggio si refrange entrando nell'acqua, e si legge sul circolo graduato l'angolo che fa il raggio refratto colla normale al punto di incidenza.

La legge di Descartes si esprime in termini generali colla formola semplicissima $\frac{\text{Sen. I}}{\text{Sen. R}} = n$; in cui I è l'angolo d'incidenza che fa il raggio colla normale, e R l'angolo di refrazione che fa il raggio refratto colla normale stessa.

Da questa formola si deduce ciò che deve avvenire quando il raggio cade normalmente sul secondo mezzo. Il seno di un angolo zero è zero, e quindi anche Sen. R e R sono quantità eguali a zero in questo caso. In altri termini, il raggio che cade normalmente non è deviato: in questo caso non v'è refrazione. È un fatto che l'esperienza conferma facilmente. Se invece l'angolo d'incidenza è il massimo, ossia eguale a 90°, nel qual caso il raggio cade parallelamente alla superficie di separazione dei due mezzi, essendo Sen 90° = 1, si ha $\frac{1}{\text{Sen.R}} = n$, da cui può dedursi Sen.R$= \frac{1}{n}$.

Il valore R dell'angolo di refrazione pei raggi che si presentano paralleli alla superficie, è quel che dicesi *angolo limite*: per l'acqua quest'angolo è = 48° 35'. Si deduce da ciò una conseguenza molto curiosa. Poichè il raggio dall'acqua all'aria retrocede per la via che ha percorso nell'entrarvi, si intende che un raggio che dall'acqua entri nell'aria facendo colla normale un angolo di 48° 35', escirà parallelamente alla superficie di separazione dei due mezzi. Se l'angolo che fa il raggio nell'acqua colla normale è maggiore di 48° 35', è chiaro che il raggio non potrà più escire: da ciò il nome di angolo limite. Accadrà in questo caso che la luce si riflette nell'interno del liquido: è questo il fenomeno che dicesi della *riflessione totale*. Potremo con un recipiente di vetro di cui le facce sieno convenientemente inclinate, chiudere l'orifizio di una finestra, guardare il sole, senza riceverne alcun raggio. Basterà perciò che il raggio si presenti alla superficie di separazione dei due mezzi per entrare nell'aria, facendo colla normale al punto d'incidenza, un angolo maggiore dell'angolo limite.

Questi fenomeni e leggi della refrazione ci spiegano molte illusioni alle quali siamo soggetti, giudicando sempre della posizione degli oggetti senza aver riguardo alla strada che hanno percorso i raggi luminosi dell'oggetto stesso per giungere al nostr'occhio. Il bastone nell'acqua ci sembra rotto e piegato ad angolo col pezzo che è fuori dell'acqua; gli oggetti al fondo di un recipiente sembrano innalzarsi coprendoli con un liquido. Sia r (*Fig.* 40) la posizione di un oggetto nel fondo di un vaso: se verso acqua nel vaso, i raggi che partono dal punto r escono nell'aria, si piegano, s'allontanano dalla normale, e perciò se l'occhio si trova nella direzione $i\,l$, vede l'oggetto alla fine di questa linea che si prolunga nell'interno del liquido. Ecco come l'oggetto apparisce sollevato. I raggi che entrano nell'atmosfera venendo dal sole che sta per escire di sotto l'orizzonte, per una serie di refrazioni che subiscono prodotte dagli strati d'aria diversamente densi si piegano, entrano incurvati, e l'occhio nostro li prolunga, sollevando perciò la posizione dell'oggetto. Da ciò viene che noi vediamo il sole o proseguiamo a vederlo, quando non è ancora sopra o quando è già sotto l'orizzonte.

Coi principî stessi della refrazione semplice e della riflessione totale che ha luogo quando il raggio esce dal mezzo denso facendo un angolo maggiore dell'angolo limite, s'intende un fenomeno curioso che si osserva in molte e diverse circostanze, conosciuto generalmente sotto il nome di *miraggio*. Allorchè due masse d'aria che hanno una diversa temperatura e densità stanno, in alcune particolari circostanze di calma, di forte riscaldamento del terreno, separate e parallele e che la massa meno densa è in basso, i raggi di luce che cadono inclinati e si presentano allo strato meno denso, facendo un angolo molto piccolo colla superficie di separazione, possono offrirvi la riflessione totale, e produrre per conseguenza delle immagini per riflessione. È questo il fenomeno che accade nel miraggio. In realtà i due strati d'aria non possono essere separati da una superficie in cui avvenga improvvisamento il cambiamento di densità: lo strato d'aria che è principalmente riscaldato presso il suolo forma una serie di strati, che a partire da quel primo diminuiscono di densità a misura che si sale. Subiscono per questa disposizione i raggi che quasi verticalmente entrano dal mezzo più denso nella serie del meno densi, una deviazione che continua per ogni strato a modo da far loro percorrere una curva convessa verso il mezzo meno denso. A questo modo finiscono quei raggi così ripiegati per presentarsi con un angolo piccolissimo alla superficie di separazione di due strati: allora accade la loro riflessione totale, e la

questa guisa si riflettono rientrando nel mezzo più denso e descrivendo un'altra porzione di curva simile alla prima percorsa nell'entrarvi. Ne verrà per conseguenza che l'occhio il quale si troverà in posizione da incontrare e i raggi diretti e quelli che hanno percorso la linea curva suddetta, scorgerà due immagini, una diretta e l'altra che comparirà rovesciata, o a meglio dire simmetrica all'altra come in uno specchio piano. È questo che accade nelle pianure sabbiose dell'Egitto: e poichè un'apparenza simile a quella della *Fig.* 82 è attribuita per le nostre abitudini alla presenza di una massa d'acqua che ci fa quest'effetto, è naturalissima l'illusione che l'Armata francese proveva in quei luoghi sperando di avvicinarsi all'acqua. Quando l'aria meno densa è in alto e sovrapposta a degli strati più densi prossimi al suolo, come qualche volta accade sul mare, si vedranno i vascelli navigare in aria per mezzo d'immagini poste al di sopra di loro e rovesciate. Qualche volta gli strati di diversa densità sono allo stesso livello, e separati da piani verticali: in questo caso gli oggetti ci sembrano raddoppiati, e le loro immagini sono diritte.

Per imitare con un'esperienza la spiegazione del miraggio, basta di empire di carboni accesi una cassa di ferro $c\,c'$ (*Fig.* 83) molto grande, e di guardare coll'occhio posto in p, una mira o un oggetto qualunque posto in m. Si vedrà nello stesso tempo l'immagine dell'oggetto in m, e se ne vedrà pur un'altra rovesciata in m'.

LEZIONE LXXXVIII e LXXXIX.

Refrazione della luce per mezzo del prisma. — Dispersione della luce. — Spettro solare. — Linee nere o bianche dello spettro scoperte da Frahuenhofer. — Colori dello spettro. — Ricomposizione della luce. — Colori naturali dei corpi — Proprietà calorifiche dello spettro. — Azione chimica della luce. — Fosforescenza per insolazione — Arcobaleno o iride. — Acromatismo.

Un raggio luminoso che incontra obliquamente la superficie di un corpo trasparente, dotato di una densità diversa da quella del mezzo da cui viene quel raggio, non prosegue in linea retta, e devia invece, avvicinandosi o allontanandosi dalla normale che è tirata sul punto d'incidenza. È questo il fatto della refrazione, di cui abbiamo studiete le leggi. Seguitiamo ore questo raggio nella strada che fa, escito dal corpo più denso che ha treversato, vediamo quali sono i fenomeni che presenta. Se il mezzo refrangente è terminato da due superficie parallele, come è nel caso di una lastra di vetro, di uno strato d'acqua contenuto in un recipiente di cui le facce sono parallele, i raggi di luce che escono dal nuovo mezzo dopo essersi refratti emergono paralleli ai raggi incidenti. Poichè le due facce sono parallele, si presentano i raggi refratti per escire facendo colla superficie un angolo eguale all'angolo di refrazione, ed escono per conseguenza facendo un angolo colla superficie eguale a quello d'incidenza. Questo non toglie però che gli oggetti osservati attraverso alle lastre di vetro, o alle masse d'acqua terminate da delle superficie paralleie non sieno visti fuori della loro posizione. Non è che quando l'incidenza dei raggi è perpendicolare alla superficie del mezzo refrangente, che ciò non accade: in tutti gli altri casi, benchè i raggi escono paralleli, sono però nei prolungamento dei raggi incidenti. L'oggetto è dunque visto spostato e ravvicinato. È questo che ci avviene guardando il fondo di un lago o di un fiume. Lo strato dell'acqua ci sembra più sottile di quello che è, o, per meglio dire, il fondo ci sembra meno profondo di quello che ci apparirebbe senza l'acqua.

Non accede così se il mezzo refrangente è terminato da due superficie piane inclinate. È il caso di un raggio luminoso che cade sopra la faccia $a\,s$ di un prisma di vetro o di un altro corpo trasparente qualunque (*Fig.* 46). Supponiamo che il raggio incidente si trovi in un piano perpendicolare alle due facce, cioè in una sezione principale del prisma. Il raggio $l\,i$ si refrange nel prisma avvicinandosi alla normale $n\,i$ che si suppone prolungata nel prisma stesso. Si presente alla faccia $s\,a'$ per escire, ed esce refrangendosi di nuovo, allontanandosi cioè dalla normale $i'\,n'$ e prendendo la linea $i'\,e$. L'effetto del prisma è dunque di allontanare il raggio emergente dal vertice del prisma. L'angolo che fa il raggio emergente coi raggi paralleli al raggio incidente si chiama la deviazione prodotta dal prisma. Se si suppone l'oggetto molto lontano, l'occhio posto nelle direzione del raggio emergente e, potrà scorgere nello stesso tempo un'immagine diretta e un'immagine refratta che sarà sul prolungamento del raggio $i'e$.

L'angolo che fanno fra loro queste due immagini forma la deviazione prodotta dal prisma. Questa deviazione crescerà crescendo l'angolo $a\,s\,a'$ o l'angolo refrangente del

prisma; dipenderà ancora la deviazione dall'angolo d'incidenza dei raggi e dall'indice di refrazione della sostanza che compone il prisma. Se l'angolo refrangente del prisma fosse doppio dell'angolo *limite*, è certo che non vi sarebbe raggio che escisse dal prisma. Infatti i raggi che cadono parallelamente alla superficie *a s* dovrebbero refrangersi venendo a fare colla normale un angolo limite, ed essendo l'angolo refrangente del prisma doppio di quest'angolo, il raggio refratto sarebbe perpendicolare alla linea che divide l'angolo del prisma e metà, e perciò questo raggio si presenterebbe all'altra faccia *s a'* per escire, facendo colla normale *i' n'* un angolo eguale all'angolo limite. Non potrebbe perciò escirne quel raggio, o almeno sarebbe l'ultimo di quelli che possono escirne: tutti gli altri raggi incidenti più inclinati alla superficie *s a* devono presentarsi alla faccie *s a'* facendo un angolo più grande dell'angolo limite, e soffrono perciò la riflessione totale.

Componendo dei prismi eguali e di varie sostanze, si possono determinare, per mezzo di formole semplicissime, i loro indici di refrazione. Pei liquidi si costruiscono dei prismi vuoti di vetro nei quali si versano. Un metodo simile si adopera per trovare l'indice di refrazione dei corpi gassosi. La determinazione dell'indice di refrazione per molti corpi solidi, liquidi e gassosi, ha condotto ad alcune conclusioni generali. I corpi che contengono elementi infiammabili, carbonio, idrogene ec., hanno in generale un indice di refrazione più grande. Questo fatto, che anche Newton aveva osservato, lo condusse a sospettare che il diamante contenesse del carbonio, come poi l'analisi l'ha provato. In un gas composto, l'indice di refrazione è indipendente da quello dei gas componenti: è al contrario pei gas mescolati. Questo caso ultimo è quello dell'aria atmosferica, che perciò deve anche per questa ragione considerarsi come un miscuglio di ossigene e azoto. Presentando al raggio deviato da un prisma un prisma simile, cioè che abbia lo stesso angolo refrangente e che sia composto della stessa sostanza, il raggio deviato esce dal secondo prisma parallelo al raggio incidente, qualora i due prismi sieno opposti. Tal risultato è una conseguenza necessaria dei principi esposti.

Non è la sola deviazione che subisce un fascio di raggi solari nel passare attraverso ad un prisma. Se, come nell'esperienza (*Fig* 30), si riceve sopra un diaframma bianco il fascio di luce che ha traversato il prisma, si vede, 1.° che mentre prima del prisma l'immagine era circolare, è divenuta invece ellittica e molto allungata perpendicolarmente agli spigoli del prisma; 2.° che da bianca che è l'immagine diretta, l'immagine ottenuta col prisma è formata di diversi colori. Quest'immagine, che chiamasi *spettro solare*, è terminata da due linee parallele perpendicolari agli spigoli del prisma e da due semicircoli paralleli a quegli spigoli: si compone di strisce parallele di colore diverso. Si distinguono, quando lo spettro è puro e ben formato, sette strisce dei sette colori seguenti: *rosso*, *arancioto*, *giallo*, *verde*, *bleu*, *indaco* e *violetto*. È necessario di ricevere lo spettro sopra il diafragma a 5 o 6 metri dal prisma, perchè queste strisce colorate sieno ben distinte: è utile ancora che l'orifizio per cui entrano nella stanza i raggi solari non sia più largo di un centimetro, e che l'angolo refrangente del prisma sia di 60.° In queste esperienze si adopera, generalmente, un prisma di vetro o di cristallo. Si può però adoperare anche un prisma liquido, che si fa con due lamine di vetro riunite con una tela negli spigoli. questa disposizione permette di variare l'angolo del prisma. Versando in questo prisma dei liquidi diversi, si può determinare la diversa ampiezza dello spettro, o ciò che chiamasi il coefficiente di *dispersione* delle diverse sostanze. Si fa questa osservazione con una serie di priemi che hanno lo stesso angolo refrangente, sovrapposti l'uno all'altro: movendoli davanti all'orifizio da cui entra il fascio di luce solare, s'obbliga questo fascio a cadere sui diversi prismi colla stessa obliquità, e si ottengono in tal modo degli spettri disegualmente deviati e nei quali i sette colori occupano degli spazi diversi. Nello spettro ottenuto da un prisma di *flint-glass*, che è un vetro che contiene dell'ossido di piombo, vi è proporzionalmente assai più di color rosso, in confronto dello spettro formato con un prisma di *crown-glass* o di vetro ordinario.

Qualunque però sia la sostanza del prisma adoperato, qualunque la luce che si è scomposta col prisma, la disposizione dei raggi colorati nello spettro ottenuto è la stessa: la striscia violetta è sempre la più deviata, cioè quella che è più lontana dall'angolo refrangente del prisma, e successivamente lo sono meno gli altri sei colori dello spettro.

L'osservazione dello spettro per mezzo di quegl istrumenti ottici che servono ad ampliare gli oggetti ed a renderli perciò meglio visibili, ha fatto scoprire a Frauenhofer che in mezzo alle strisce dei diversi colori che lo compongono, vi erano sparse in posizioni determinate delle strisce o linee più o meno nere. Sono queste strisce nere o *raies* dello spettro, perpendicolari alla

lunghezza del medesimo, di larghezza diversa, disegualmente distribuite nelle sette strisce colorate dello spettro, e se ne contano 600 nello spettro solare. Ciò che presentano di più curioso queste strisce nere dello spettro scoperte da Frahnenhofer, si è che il loro numero e la loro posizione sono intieramente indipendenti dall'angolo refrangente e dalla sostanza del prisma: esse non variano che coll'origine diversa dei fasci luminosi da cui si trae lo spettro. La luce dei pianeti dà le stesse strisce nere che presenta la luce solare: non è però così per la luce delle stelle di prim'ordine e per la luce prodotta dalle fiamme o in generale dai corpi in combustione. Per lo spettro di queste luci, le linee nere sono diversamente distribuite, e nello spettro della luce elettrica oltre alle linee nere ve ne sono delle bianche. Bastino questi pochi cenni sulla scoperta di Frahnenhofer per mostrarne tutta l'importanza. Ora che conosciamo in che consista lo spettro solare e in qual modo si formi, cerchiamo d'interpretare questa formazione, veggiamo d'intendere come la luce bianca possa dar luogo ai sette colori dello spettro.

Poichè un fascio di luce bianca deviato da un prisma, presenta sette strisce luminose di un colore diverso e separate fra loro, conviene ammettere che la luce bianca è composta di raggi di diversi colori, dotati di una diversa refrangibilità per la quale si separano allorchè si refrangono per mezzo di un prisma, e che questi sette raggi di diverso colore riuniti insieme producono la luce bianca. Che la refrangibilità dei colori elementari della luce bianca sia diversa, oltre alla prova che si ha nella formazione stessa dello spettro, può facilmente vedersi presentando separatamente un prisma ad ognuno dei raggi colorati che formano lo spettro. Se si raccoglie l'immagine che ognuno di questi sette raggi produce per mezzo del secondo prisma, facendoli cadere tutti colla stessa obliquità, si vede che l'immagine più deviata, quella che si rifrange di più, è la violetta, e quella che si rifrange meno è la rossa. Sono dunque i raggi violetti, i più refrangibili, e sono essi infatti i più allontanati dal vertice del prisma. Gli altri raggi sono successivamente meno refrangibili andando dal violetto sino al rosso, che lo è meno di tutti. Osservate ancora che obbligando ognuno dei sette colori dello spettro a rifrangersi attraverso ad un secondo prisma e a simile, se volete, l'un dopo l'altro, non si vede apparire alcun nuovo colore: l'immagine colorata che così s'ottiene, non è che deviata, ma non allungata, non mai composta di nuovi e diversi colori. In generale, qualunque sia il mezzo con cui si agisce sopra i raggi colorati dello spettro, è impossibile di ridurli mai a dare dei raggi di altro colore: posson distruggersi, ma non risolversi in altri colori. Fate cadere i raggi violetti dello spettro sopra dei corpi che abbiano naturalmente dei colori diversi, che sieno rossi, gialli, verdi ec.: tutti questi corpi divengono violetti, e non può più scorgersi alcuna traccia del colore primitivo del corpo. Se questi corpi son posti nei raggi rossi dello spettro, tutti ci compariranno rossi. Provate a far passare i raggi di un colore dello spettro attraverso a dei corpi diafani di diversi colori: o i raggi che passano sono del colore del raggio dello spettro che li attraversa, o non passano interamente.

Tutti questi fatti ci portano a conchiudere, che ognuno dei colori o raggi colorati, dello spettro è un color *semplice o omogeneo* dal quale è impossibile di separare nessun altro colore. Se non che per intendere la formazione dello spettro, conviene ammettere che i diversi raggi elementari che compongono ognuno dei colori dello spettro stesso, son ancora diversamente refrangibili fra loro. Difatti, parlando della striscia rossa dello spettro, conviene ammettere che i raggi che sono all'estremità dello spettro, quelli meno refratti di tutti, in una parola, i raggi *rossi estremi*, sono meno refrangibili dei medi, e questi meno dei raggi rossi prossimi ai raggi aranciati. Così si dica per gli altri colori. Ammettiamo dunque che nella luce bianca si trova un'*infinità* di raggi di colore diverso e di una diversa refrangibilità, ed allora giungeremo a spiegarci pienamente la composizione dello spettro. Immaginate che due soli fossero i colori della luce bianca: supponete che questa luce si componesse di raggi violetti e di rossi. In questo caso lo spettro si comporrebbe di due immagini rotonde, una rossa e l'altra violetta, che si formerebbero ad una certa distanza l'una dall'altra. Se a questi due raggi supporrete di aggiungere altri raggi rossi più refrangibili dei primi e dei violetti meno refrangibili dei primi, lo spettro si comporrà di quattro immagini rotonde che saranno separate l'una dall'altra da un intervallo minore di quello che vi era nel caso precedente. La seconda immagine rossa e la seconda violetta saranno in parte sovrapposte, l'una alla prima rossa, e l'altra alla prima violetta. Lo spettro è dunque in realtà formato da un'infinità di immagini circolari che si sovrappongono in parte, e che sono formate da raggi di un colore e di una refrangibilità diversa: ogni zona, per quanto stretta si prenda, è in realtà composta da un infinito numero di queste immagini circolari che si sormon-

tano in parte, le quali però, essendo di un diametro piccolissimo, possono esser considerate come formate di una sola e stessa luce. S'intende da ciò, come nello spettro ordinario risulti quella specie di fusione dei colori, per la quale le tinte si succedono in un modo, direi quasi, continuo, e senza separazioni ben nette e distinte.

La composizione della luce bianca è anche ad evidenza provata dalla riunione dei diversi raggi dello spettro. Posso provarvi l'effetto di questa riunione in molti modi. Se di dietro al primo prisma che ha separati i sette raggi della luce bianca ne presento un altro simile, disposto inversamente del primo, cioè coll'angolo refrangente in basso, allora il fascio che è colorato fra i due prismi non lo è più al di là del secondo, ed il fascio che lo attraversa è di nuovo di luce bianca, e parallelo al fascio caduto sul primo prisma. Eccovi un cubo fatto con lamine di vetro, e che è separato in due cavità prismatiche da una lastra di vetro messa nella diagonale. Mettendo acqua in uno dei prismi, il raggio è deviato e fa spettro: questo non accade più versando acqua ancora nell'altra cavità. Possono anche presentarsi i raggi colorati divisi dal prisma ad uno specchio concavo: si vede allora un'immagine bianca formata nel punto o foco in cui tutti i raggi di diverso colore s'incontrano. Oltrepassato questo punto, ricompariscono i raggi di diverso colore i quali seguitano la loro strada separatamente. Non è una combinazione chimica quella che avviene nei raggi di un diverso colore, e per cui formano la luce bianca. Proviamo la sensazione della luce bianca allorchè i sette raggi colorati che formano lo spettro agiscono, portano contemporaneamente la loro impressione sul nervo del nostr'occhio. Possono anche riunirsi i raggi colorati della luce bianca per mezzo di un corpo trasparente di una forma particolare, che più innanzi vi descriverò. Presentando (*Fig.* 62) una lente l di vetro ai raggi divisi dello spettro p, si trova ad un certo punto f in cui sono raccolti i raggi, un'immagine bianca. Se in questo punto v'è uno specchio, lo spettro va a formarsi in $r'' n''$: se lo specchio non v'è, lo spettro si forma in $n' r'$. Tanto in un modo che nell'altro si vede che i raggi di diverso colore non si sono in alcuna maniera modificati nel loro contatto; si son separati intatti l'uno dall'altro, o solamente nel punto del loro concorso hanno formata un'immagine bianca.

V'è infine un mezzo meccanico onde ricomporre la luce bianca, di cui voglio parlarvi. Eccovi un disco di legno tinto di nero, che ha circa un piede di diametro, e che è fissato nel suo centro ad un asse di ferro. Per questa disposizione può facilmente farsi rotare il disco con una grande rapidità. Sul disco sono incollate alcune striscie di carta tinte con colori, per quanto è possibile, simili a quelli dello spettro: le carte tinte non son lunghe quanto il raggio del disco, e sono incollate in modo da lasciare e presso il centro e presso l'orlo del disco due zone scoperte. Le strisce sono disposte come i colori dello spettro, e sono di quella larghezza che hanno nello spettro. Dopo averdi seguito riuniti i sette colori, si ricomincia con altri sette simili. Nel nostro disco vi sono tre spettri incollati l'uno di seguito all'altro. Fo rotare il disco e l'osservo: non veggo più i colori dello spettro, ed invece le due zone nere mi si mostrano separate da una zona di un color bianco. Eccovi la spiegazione di quest'apparenza: se invece dei sette colori avesse una o tre sole strisce di carta colorata sul disco, o che queste fossero di un sol colore, rosse p. es., la rotazione del disco farebbe vedere un anello tutto rosso. È quello che accade nella rotazione di un carbone acceso, in cui è un anello di luce che comparisce: l'impressione che fa sulla retina il carbone in un punto del circolo che percorre, persiste finchè torna il carbone in quel punto, e lo stesso accade per tutti gli altri punti. Essendo sul disco i sette colori dello spettro, noi proviamo contemporaneamente l'impressione di sette anelli che hanno i sette colori dello spettro: abbiamo perciò la sensazione del colore bianco, che è la sensazione simultanea dei sette colori che lo compongono.

Questa esperienza ci mette in grado di scoprire ciò che deva accadere riunendo insieme due a due, tre a tre ec. i sette colori dello spettro. Supponete di togliere uno dei colori, p. es. il rosso, e fate rotare il disco: la sensazione simultanea che producono gli altri sei colori dello spettro, ossia il colore che risulta dal loro miscuglio, è un colore azzurrognolo. Difatti questa tinta mescolata alla rossa riproduca il bianco, ed è per questo che si dicono l'una *complementaria* dell'altra. Qualunque colore ha perciò il suo color complementario, ossia quel colore con cui mescolato produce il bianco: manca di alcuni colori i quali mescolati e riuniti con esso producono il bianco. Possono variarsi infinitamente i miscugli con un apparecchio che si compone di sette specchi, i quali si dispongono in modo da mandare sopra ognuno di essi una striscia colorata dello spettro. In questo modo possono riunirsi sopra un foglio bianco due o tre o più raggi colorati. Newton facendo un grandissimo numero di esperienze sopra questo soggetto, è giunto ad alcune conseguenze generali: 1.° due colori consecutivi nello spettro danno sempre

col loro miscuglio una tinta intermedia: così il rosso e l'aranciato danno un rosso o un aranciato più o meno rosso o più o meno aranciato, secondo le proporzioni relative dei due colori che si mescolano; 2.° due colori distanti nello spettro di un colore, danno col miscuglio il colore che li separa; così il rosso e il giallo danno l'aranciato, l'aranciato e il verde danno il giallo, il giallo e il bleu danno verde, il verde e l'indaco producono il violetto, il bleu e il violetto formano l'indaco; 3.° due colori distanti di due ordini nello spettro danno uno dei colori che li separa, come s'avrebbe se fosse mescolato con una certa quantità di luce bianca.

Vedete da ciò che è possibile d'imitare perfettamente tutti quei colori che troviamo in natura, componendo insieme diversi colori semplici dello spettro; e che da tutti i colori naturali possono separarsi i colori semplici che li compongono. Osservate infatti attraverso ad un prisma e a molti piedi di distanza, due strisce sottili di carta, una di color rosso e l'altra di color violetto, che sono incollate sopra un foglio nero l'una di seguito all'altra: vedrete le due strisce separate e la violetta più deviata della rossa, quella più della seconda rialzata verso il vertice del prisma. E se invece di prendere le due carte colorate, mescolate insieme i due colori con cui le avete tinte, e guardate col prisma il color porpora che ne è risultato, vedrete ancora le due immagini separate, una violetta e l'altra rossa. Osservando col prisma una striscia bianca, secondo la sua grandezza, la vedrete o interamente ridotta nei sette colori dello spettro, lo che accade quando è molto stretta; oppure vedrete, se è larga, del bianco nel mezzo e i suoi orli tinti, uno in violetto, indaco e bleu, l'altro in rosso, aranciato e giallo. In questo secondo caso si formano tanti spettri i quali si sovrappongono e rifanno il bianco, non rimanendo che i soli colori degli orli, i quali non possono esser ridotti bianchi coi loro colori complementari.

Osservando col prisma le diverse luci prodotte dalle varie combustioni, si trova che tutte contengono dei raggi semplici dello spettro solare, senza che però nessuna di queste produca tutto intero quello spettro. Il colore che hanno queste fiamme è, in generale, il colore che domina nel loro spettro. Brewster ha trovato una sola fiamma *monocromatica* nella combustione di un pezzo di spugna inzuppata con alcool diluito con acqua salata.

Newton, a cui si devono quasi interamente tutti i fatti che v'ho esposto relativamente alla decomposizione e ricomposizione della luce bianca, e alle proprietà dei colori semplici dello spettro, fu condotto ad ammettere, che i colori naturali dei corpi risultano da una disposizione particolare delle loro molecole, per la quale sono resi atti a riflettere in maggior copia i raggi di un certo colore e ad assorbire o ad estinguere gli altri. Questa dottrina, che molti fenomeni ottici s'accordano per confermare, è principalmente provata da quel fatto che già v'ho mostrato, che cioè un corpo, qualunque sia il colore che ha, esposto alla luce bianca, non presenta più che un sol colore, cioè quello del raggio dello spettro in cui è messo; la tinta del corpo in questo caso non fa che divenire più brillante, allorchè è analoga al suo colore naturale. La porzione dei raggi luminosi che è assorbita dalle molecole dei corpi deve crescere per conseguenza col numero di queste molecole, ed ecco la ragione perchè in generale i vetri colorati, l'aria, le grandi masse d'acqua, prendono delle tinte tanto più cariche, quanto più è grosso lo strato di questi corpi che la luce traversa. Risulta ancora da questa teoria, che il colore di un corpo diafano visto per riflessione e per trasmissione deve esser lo stesso: tanto in un modo che nell'altro, il colore del corpo è una conseguenza dei raggi elementari della luce bianca che egli assorbe od estingue: in tutti i casi, perchè un corpo si colori, è necessario che i raggi abbiano penetrato la sua sostanza, senza di che non sarebbe che bianco il corpo esposto alla luce: nè verrebbe ancora, se il colore dipendesse dalla riflessione sola alla superficie dei corpi, che il ridurli in polvere più o meno fina, l'assottigliarli più o meno, non avrebbero influenza sul colore. L'osservazione invece prova che la tinta dei corpi è tanto più leggiera quanto più sono presi di una polvere fina o di uno strato molto sottile, ciò che dev'essere ammettendo l'assorbimento prodotto dalle molecole del corpo per quei colori, che tolti alla luce bianca danno il colore naturale del corpo.

Il colore dei corpi veduti colla luce trasmessa e che non si mostrano colorati per riflessione, è necessariamente dovuto all'assorbimento che è *diverso* pei raggi di diverso colore. Un raggio di luce bianca dovrebbe avere, dopo il passaggio attraverso ad un corpo, tutti i suoi elementi colorati nella stessa proporzione, quando tutti questi fossero egualmente assorbiti: ma poichè ciò non è, poichè il mezzo appare colorato, conviene concludere che esso è diversamente permeabile ai raggi di diverso colore. Ogni raggio dello spettro ha dunque il suo indice di trasparenza proprio ad *un tal mezzo*: quest'indice varia col raggio e colla natura del mezzo. Per cui avviene che crescendo la gros-

sezza del mezzo, può, per la varia intensità che hanno primitivamente i raggi colorati dello spettro, apparire questo mezzo ora di un colore e poscia di un altro per una grossezza maggiore. Questo fenomeno si osserva empiendo un prisma di vetro di una soluzione di cloruro di cromo: il colore è di un bel verde alla cima del prisma, ed è invece di un rosso carico alla base, dove lo strato liquido è più grosso. Questo vuol dire che i raggi verdi, che sono nella luce bianca più intensi dei rossi, predominano quando l'assorbimento è piccolo; allorchè lo strato è molto grosso, i primi essendo più assorbiti dei secondi, il corpo apparisce rosso.

Sono infinitamente curiose le differenze di colore che lo strato di aggregazione e la temperatura, forse agendo su quella, portano nei corpi. Il diamante, che è il carbonio cristallizzato, presenta una prova assai singolare dell'influenza che ha l'aggregazione sopra il colore di un corpo: il minio, l'ossido rosso di mercurio che son rossi alla temperatura ordinaria, si fanno neri o quasi neri scaldandoli: l'ioduro di mercurio, che è rosso alla temperatura ordinaria, è di un bel giallo quando è riscaldato, e torna rosso col raffreddarsi o semplicemente toccato.

Oltre i raggi di diverso colore, lo spettro solare presenta delle altre proprietà singolari. Nel trattato del Calore vi ho detto che la posizione del massimo di calore nello spettro dipendeva dalla natura del corpo di cui il prisma era formato. Berard aveva trovato questo massimo nel *rosso*; Herschel al di là del rosso, e quindi fuori dello spettro. Melloni ha provato che quanto più il corpo è diatermano, tanto più il massimo di calore s'allontana dal giallo, e si porta verso il rosso: con un prisma di sal gemma questo massimo è molto al di là del rosso. Se lo spettro formato dal sal gemma si fa passare per uno strato d'acqua contenuto fra due lamine parallele di vetro, il massimo si ravvicina al color rosso e penetra nello spettro col crescere della grossezza dello strato: così quando questa grossezza è di 300 millimetri, il massimo del calore si trova nel color giallo.

Melloni, studiando la posizione del massimo di calore nello spettro prodotto costantemente collo stesso prisma di sal gemma, ha trovato che questa posizione non si prolunga sempre nello spazio oscuro al di là del limite rosso dello spettro. Le differenze di posizione di questo massimo sembrano indipendenti dalla serenità del cielo e dalla trasmissione del calore nell'aria. Parrebbe che i raggi calorifici soffrissero un assorbimento dall'aria, che sarebbe diverso secondo le circostanze dell'aria stessa, non ancora bene studiate. Potrebbe anche supporsi che queste differenze dipendessero dallo stato della sorgente. Non trovo impossibile che l'azione qualunque che produce la luce solare, non possa supporsi soggetta a delle variazioni: anche gli effetti chimici della luce solare, de' quali vi parlerò in breve, sembrano esser soggetti a delle differenze, di cui la cagione non può trovarsi che in una modificazione de' raggi solari. Chi sa che a questa modificazione non sia dovuta l'incostanza con cui si produce un altro effetto di certi raggi del prisma! Vi sono alcuni Fisici i quali persistono nell'ammettere che i raggi violetti dello spettro solare magnetizzano l'acciaio, altri che negano assolutamente questa proprietà; e ve sono ancora di quelli, i quali assicurano che in certi giorni, in certe ore, la facoltà magnetizzante sussiste, mentre in altre circostanze non si trova.

Devo ancora parlarvi dell'azione chimica della luce solare e della sua distribuzione nello spettro. L'azione della luce sopra il cloruro d'argento, sopra i sali d'oro, sopra un miscuglio di cloro e idrogene, sono fatti noti da molto tempo. Eccovi un foglio tinto col cloruro d'argento. Non appena è esposto alla luce solare, che si vede divenir violetto e poi nero. Il cloro e l'idrogeno rinchiusi in una boccia esplodono immediatamente, ai combinano appena sono percossi da un raggio solare. Sono infinite e giornaliere le osservazioni che provano l'azione chimica della luce sulla sostanza verde delle piante. Chi non sa che senza la luce questa sostanza si distrugge, e che ricompare tenendo il vegetabile esposto al sole? Accadono in questa azione dei fenomeni certamente chimici: al crescere del color verde cresce lo sviluppo dell'ossigene. È questo il fatto che le ultime osservazioni del sigg. Morren hanno messo fuori di dubbio. Secondo questi Fisiologi, il color verde di certe acque stagnanti, che è variabile nelle diverse ore del giorno sarebbe dovuto all'azione della luce sopra dei piccoli animaletti infusori che vi sono contenuti. Queste osservazioni sono tanto più curiose, in quanto che mostrano una nuova analogia fra i vegetabili e gl'infusori, che sono gli ultimi della serie animale. Sotto l'azione della luce questi animaletti invertirebbero sviluppando ossigene e scomponendo l'acido carbonico, e al contrario accadrebbe nella notte. Quest'azione è interamente analoga alla respirazione delle piante.

Se si cerca nello spettro quali sono i raggi che producono la maggior azione chimica, si trova che questa è propria dei raggi violetti. Becquerel figlio si è servito di un processo ingegnoso per scoprire l'azione

chimica della luce solare : consiste questo nel misurare la intensità dell'azione chimica prodotta dalla luce col mezzo della corrente elettrica che ne è prodotta. Mandando sopra una lamina coperta di cloruro d'argento i diversi raggi dello spettro , oppure coprendo questa lamina con vetri di diverso colore , si trova che l'azione è massima quando è il raggio violetto che v'agisce: l'azione è quasi nulla o nulla affatto pei raggi gialli e rossi.

L'azione chimica dei raggi meno refrangibili dello spettro non si mostra , se non quando è già stata cominciata dalla luce bianca o dai raggi più refrangibili. Il giovane Becquerel ha visto annerire una carta tinta col bromuro di argento , essendo esposta ai raggi rossi dello spettro, purchè questa carta sia stata prima per pochi istanti esposta alla luce diffusa o ai raggi violetti. Quest'azione primitiva può essere appena sensibile , e si fa l'esperienza coprendo il foglio con un altro che abbia delle aperture. Si veggono allora , portando il foglio sui raggi rossi , comparire delle macchie nere corrispondenti a quei punti su cui la prima azione della luce ha avuto luogo. Becquerel ha quindi creduto di distinguere due specie di raggi chimici ; gli uni , posti nella parte più refrangibile dello spettro sono i raggi chimici *eccitatori*, e gli altri semplicemente *continuatori*, che si trovano nella parte meno refrangibile dello spettro. Facendo passare la luce prima che incontri le carte tinte di cloruro o bromuro d'argento attraverso a vetri di diverso colore , si osserva che alcuni di questi lasciano passare i raggi continuatori , ed altri i raggi eccitatori. Alcune esperienze fatte di recente in Inghilterra , ed altre del Prof. Majocchi , proverebbero che anche i raggi calorifici e lo stesso calore condotto , possono continuare l'azione chimica. Riferirò un'osservazione relativa agli effetti chimici dei raggi di diverso colore. Tenendo delle foglie verdi in mezzo a soluzione saline di diverso colore , m'è accaduto di vedere che in alcune il color verde spariva , e che in altre persisteva. Il colore azzurro ed il verde delle soluzioni mi sembrano quelli che conservano di più la tinta verde dei vegetabili.

Non posso lasciarvi interamente ignorare l'applicazione importante che è stata fatta dell'azione chimica della luce. I disegni *fotogenici* sono una delle più importanti scoperte pratiche di questi ultimi tempi. È alle fatiche di Niepce e di Daguerre che le dobbiamo. Il processo col quale questi due uomini pazientissimi ed ingegnosi son giunti ad avere un disegno di un oggetto qualunque ed a fissarlo, consiste nel coprire con un velo sottile di iodio una lastra di argento ben pulita. La lastra è perciò messa in una scatola, nel fondo della quale si trova una capsula coll'iodio. Il vapore di questo corpo o si depone sulla lastra o vi si combina: è certo che la lastra dopo pochi minuti prende una tinta gialla d'oro. Così preparata si porta rapidamente nel campo di una camera ottica in cui vi è l'immagine dell'oggetto che si vuol copiare. Vi descriverò più innanzi quest'istrumento. Le parti illuminate delle immagini , che sono necessariamente quelle dell'oggetto , si disegnano da loro *stesse* , volatilizzando o scomponendo lo strato giallo fatto dall'iodio. Dopo un tempo , sempre cortissimo e che dipende dalla purezza dell'aria , la lastra è rapidamente portata in un'altra scatola in cui si trova immersa nel vapor del mercurio formato scaldando questo liquido in una capsula contenuta nel fondo della stessa scatola. L'operazione è finita dopo pochi minuti, e se allora si guarda la lamina si vede il disegno formato. Il vapore del mercurio si è deposto, combinandosi all'argento, in tutti quei punti della lastra, che per l'azione delle parti più luminose dell'immagine erano rimasti senza iodio e quindi allo scoperto. Si toglie la lastra della scatola a mercurio, si tuffa in una dissoluzione calda di sal marino e poscia nell'acqua stillata. Ogni traccia di giallo sparisce con questa lavatura , e rimane un disegno a chiaro-scuro che non soffre più alcuna azione dalla luce. Il mercurio unito all'argento forma le tinte chiare le quali appariscono tanto meno chiare quanto meno è stata scoperta la lastra d'argento per l'azione della luce ; sono questi i punti poco amalgamati a cui corrispondono le mezze tinte. Nei punti in cui è rimasto dopo la lavatura il solo argento, e su cui il mercurio non ha agito perchè il iodio li difendeva , appariscono le tinte scure. Adoperando il bromo invece dell'iodio , le immagini si disegnano sulla lastra con una rapidità anche maggiore: si riesce con quest'ultimo mezzo ad avere anche i ritratti.

Per più semplicità, e senza il Dagherratipo si formano dei disegni per mezzo delle carte fotogeniche di Talbot , le quali si preparano bagnandole alternativamente in due soluzioni , una di nitrato d'argento , l'altra di cloruro , o di iodio , o di bromuro d'iodio. Si depone sulla carta uno strato di bromuro , o di ioduro o di cloruro d'argento che annerisce all'istante alla luce solare , e che perciò riceve il disegno nella camera ottica. Quando l'immagine è disegnata , convien togliere con una soluzione concentrata di sal marino il resto del cloruro , o ioduro o bromuro d'argento giacchè senza ciò tutto annerirebbe in seguito. Si noti pe-

rò che con queste carte fotogeniche le tinte oscure dell'oggetto o dell'immagine essendo le parti in cui v'è luce, corrispondono nel disegno alle parti bianche non alterate, mentre le parti nere del disegno son quelle in cui la luce ha agito maggiormente e quindi le più illuminate dell'oggetto.

Un'azione chimica della luce molto curiosa e che merita d'essere studiata, è quella che il Bizio ed il Cini hanno recentemente trovato, esaminando le lastre di vetro con cui si ricoprono i disegni. Eccovi un vetro di quelli con cui si coprono i cartellini delle piante negli orti botanici, che devo all'amicizia del Marchese Ridolfi. Si legge chiaramente in caratteri bianchi il nome che è stato scritto sul cartello che v'era a contatto. Quest'azione, che richiede di certo molti anni per rendersi sensibile, è realmente dovuta ad un'alterazione della sostanza del vetro. Ho lavato con acqua, con soluzioni acide, alcaline, più o meno calde, il vetro così disegnato, senza che il disegno sparisca. È curioso a notarsi, che il disegno bianco fatto sul vetro corrisponde ai caratteri neri del foglio o della stampa: di certo i raggi solari misti di raggi luminosi, calorifici chimici ec., devono essere diversamente assorbiti nei punti neri e nei bianchi, e quindi diversamente riflessi sui punti corrispondenti del vetro.

Devo dirvi anche una parola di un altro singolare effetto della luce, che sembra variare secondo il suo diverso colore: vi sono dei corpi che esposti alla luce solare per pochi minuti, divengono *fosforescenti*, e compaiono perciò luminosi portati nell'oscurità. Il così detto fosforo di Bologna, che si ottiene scaldando ad un'alta temperatura il solfato di barite col carbone, è il corpo sul quale primieramente si scoprì la fosforescenza per *insolazione*. Anche il solfuro di calcio è un corpo fosforescente per insolazione. I gusci d'ostrica calcinati con lo zolfo, dopo pochi minuti di esposizione al sole emettono una luce verde molto viva. Questa sostanza diviene fosforescente anche alla fiamma di una candela o alla luce di una scintilla elettrica.

Grotthus ha osservato che fra i *raggi* dello spettro, quelli che eccitano maggiormente la fosforescenza sono i violetti, e meno di tutti i rossi. Questa stessa conseguenza può trarsi dalle ultime esperienze fatte da Becquerel, sulla fosforescenza eccitata dalla luce elettrica. Nelle lezioni sull'Elettricità avete visto che la luce elettrica eccitava la fosforescenza per una specie d'irraggiamento, e non già per il passaggio o urto eccitato dall'elettricità stessa. Di fatti la scintilla elettrica produce la fosforescenza anche a distanza; anche attraverso a diaframmi. Se il diaframma è un vetro rosso, giallo, verde, la fosforescenza è appena sensibile: è al massimo con un vetro violetto, e maggiore che con un vetro bianco. Queste esperienze ci provano che i raggi luminosi che eccitano la fosforescenza non sono nè i raggi calorifici, nè i chimici. Non sono di certo i calorifici, giacchè sarebbero in questa ipotesi i raggi rossi che ecciterebbero maggiormente la fosforescenza: non sono neppure i raggi chimici, giacchè si vede che colla luce intensissima del fosforo che brucia, la quale è capace di una grande azione chimica, non si eccita sensibilmente la fosforescenza.

V'è un fenomeno naturale molto curioso che è prodotto dalla decomposizione della luce solare, e di cui per conseguenza devo parlarvi prima di abbandonare questo soggetto. Questo fenomeno è *l'iride o arcobaleno*. Ognun di voi avrà certamente osservato in quali circostanze l'arcobaleno si produce. L'occhio dell'osservatore è rivolto direttamente verso l'arcobaleno, mentre il sole, poco alto al disopra dell'orizzonte, guarda il dorso dell'osservatore; v'è finalmente sull'orizzonte una nube che piove, e che è illuminata dal sole. È dunque certamente l'arcobaleno un fenomeno dovuto alla decomposizione della luce che operano le gocce di acqua della pioggia: e posso provarvelo coll'esperienza. Se getto in alto uno spruzzo di acqua per mezzo della fontana di compressione, e fo che la pioggia sia illuminata da un raggio di luce solare, trovo, girando per la stanza, una posizione in cui scorgo i colori dell'iride, che sapete esser quelli dello spettro. Difatti l'iride s'osserva sovente presso le cascate d'acqua che s'incontrano nei paesi montuosi. Talora si osservano due archibaleni: uno, cioè l'interno, che è quello di cui sono più vivi i colori e che ha il rosso in alto ed il violetto in basso; per l'altro arco la disposizione dei colori è inversa. Per provarvi che i colori dell'arcobaleno sono dovuti ai raggi del sole che si riflettono e si refrangono nelle gocce sferiche d'acqua, cerchiamo prima di studiare quale strada percorre un raggio che incontra uno spazio circolare pieno d'acqua: questa strada può anche vedersi servendosi di un matraccio pieno d'acqua.

Si vedrà il raggio *e i* (*Fig.* 84) che cade sulla goccia, entrarvi dentro, riflettersi in parte nell'interno della stessa goccia e in parte refrangersi; queste riflessioni e refrazioni continuano nei punti *b c d* a della superficie della goccia. I fasci emergenti *a' b' c' d' a'* danno tanti spettri, come si avrebbe se avessero traversato un prisma. Immagi-

niamo un raggio solare che dopo aver provata una riflessione interna in b [*Fig.* 85] s orta fuori della goccia: la sua direzione di emergenza c a farà colla direzione del raggio incidente a a un certo angolo a t a che si chiama la *deviazione* dei raggi, che in questo caso hanno provato una sola riflessione. Poichè i raggi cadono sulla superficie curva della goccia sotto angoli diversi, devono necessariamente sortire sotto angoli diversi: vi sarà quindi per ognuno dei raggi incidenti sulla goccia una deviazione diversa. Fra tutte queste deviazioni ve n'è una massima, che il Calcolo sublime determina facilmente. I raggi che cadono sotto quel l'incidenza che dà luogo alla massima deviazione camminano nella goccia, ed escono fuori paralleli fra loro. Sono questi raggi paralleli che producono i colori dell'arcobaleno, giacchè per il loro parallelismo possono giugnere sino a noi conservando la loro intensità, ciò che non può accadere per quei raggi, che non avendo sofferta la massima deviazione, escono divergenti e si separano e si disperdono per conseguenza. L'angolo d'incidenza, che dà il massimo di deviazione, è pei raggi rossi di 59° 23' 30"; la deviazione è di 42° 1' 40". Ammettiamo ora che i raggi del sole posto presso l'orizzonte illumininino le gocce di pioggie di una nube, e che l'osservatore (*Fig.* 86) volti il dorso al sole e guardi la nube. Concepiamo una linea retta che passi per il centro del sole e per l'occhio dell'osservatore, proinungandosi all'infinito verso l'oriente: questa linea nella nostra ipotesi sarà orizzontale. Immaginiamo ancora una seconda linea che tagli la prima nell'occhio dell'osservatore e che faccia con essa un angolo di 42° 1' 40", la quale sia prolungata indefinitamente nella nube. Possiamo ancora supporre che questa seconda linea giri intorno alla prima facendo sempre lo stesso angolo che si è supposto: descriverà in questo modo una superficie conica, incontrando in ognuna delle sue posizioni al disopra dell'orizzonte delle gocce d'acqua. Consideriamo unicamente le gocce che sono incontrate sotto l'angolo di emergenza che dà il massimo di deviazione per la luce rossa. Sia $a\ b\ c$ una di queste gocce: il fascio di luce che riceve dal sole è diretto orizzontalmente e perciò parallelo ad $o\ h$: di tutti i raggi che lo compongono ve n'è uno, $s\ a$, che dopo essersi successivamente refratto in a, riflesso in b e poscia refratto in c, sorte nella direzione c a soffrendo la massima deviazione, essendo a a parallelo ad $o\ h$, ed essendo a t a di 42° 1' 40", come l'angolo e o h.

Questo raggio anderebbe ad incontrare il centro del sole, se partisse dall'occhio dell'osservatore. Quello che accade a questa goccia, accade a tutte le altre che son poste sulla superficie conica tracciata dalla linea condotta dall'occhio dell'osservatore sulla nube in quella determinata inclinazione. E poichè ciò che si dice dei raggi che partono dal centro del sole, deve dirsi dei raggi che partono da tutti i punti del disco solare, non sarà più una linea rossa che si vedrà, ma una fascia arcuata di questo colore, larga quanto il diametro apparente del sole, che è di circa mezzo grado. Se il sole fosse illuminato dalla sola luce rossa non vi sarebbe che la striscia rossa nell'arcobaleno: ma deve dirsi per tutti gli altri colori della luce bianca, quello che s'è detto pel rosso: s'intende però che la loro posizione nell'arcobaleno sarà diversa, dipendendo dalla loro refrangibilità l'angolo di massima deviazione. Così pei raggi violetti, la deviazione massima è 40° 17'. Quindi per avere la posizione dell'arco violetto, dovrà condursi dall'occhio dell'osservatore una linea che faccia con o h un angolo eguale a 40° 17', e al solito descrivere la superficie conica: sarà la striscia violetta che verrà così tracciata, larga come la rossa, o come il diametro apparente del sole: tutti gli altri colori dello spettro daranno delle strisce di un'eguale larghezza poste a delle altezze intermedie fra la rossa e la violetta.

È facile dopo tutto questo di conchiudere, che tutti i colori dell'Iride sono delle superficie coniche più o meno aperte, che hanno tutte per asse comune la linea condotta per il centro del sole e per l'occhio dell'osservatore: il cono violetto è interno, facendo coll'asse un angolo di 70° 17', e il cono rosso è all'esterno, giacchè fa coll'asse un angolo di 42° 2'.

Se il raggio di luce solare che cade sulle gocce di pioggia soffre due riflessioni nel loro interno, allora, per gli stessi principi testè esposti, si forma l'arcobaleno esterno, in cui necessariamente i colori devono esser disposti in un ordine inverso a quello dell'arcobaleno interno.

Mi rimane finalmente a parlarvi di una scoperta che è stata importantissima per la costruzione degl' istrumenti ottici, e per la quale siamo riesciti a poter deviare la luce senza decomporla. Vedrete in breve che tutti quegl'istrumenti coi quali siam giunti ad avere delle immagini grandissime degli oggetti e a ravvicinare in qualche modo i corpi molto lontani, si fondano interamente sulle deviazione dei raggi luminosi operata per mezzo di vetri che hanno delle forme, presso a poco, analoghe a quelle del prisma, necessariamente si veggono deviati e colorati, per cui i contorni si distinguono molto

imperfettamente. Se gli oggetti si osservano attraverso ad un vetro terminato da superficie parallele, gli oggetti non son più colorati, ma nemmeno rimangono deviati. Non potrà dunque mai ottenersi la deviazione di un raggio luminoso senza che emerga decomposto e colorato? È questa la questione che è stata risoluta colla scoperta dell'*acromatismo*. M'interessa assai che vi facciate un'idea abbastanza chiara di questa scoperta fatta dal celebre Dollond, e contro la possibilità della quale Newton aveva sentenziato. Un raggio che attraversa un prisma di vetro è deviato e genera lo spettro formato da sette strisce colorate, in cui la striscia rossa è la meno deviata, e la violetta quella che lo è maggiormente. L'angolo che fa il raggio rosso col violetto, o per meglio dire la differenza fra l'indice di refrazione del raggio violetto e quello del raggio rosso, che è ciò che chiamasi *dispersione*, e quindi l'estensione dello spettro, dipendono dalla grandezza dell'angolo refrangente del prisma e dalla natura della sostanza che compone il prisma. Eccovi il così detto *prisma mobile*, di cui v'ho parlato: secondo che inclino più o meno le due facce di questo prisma, che il suo angolo è più o meno grande, la deviazione varia, lo spettro è più o meno allungato, i due raggi estremi, rosso e violetto, sono più deviati l'uno dall'altro. Se verso in questo prisma dei liquidi diversi, se prendo prismi eguali di sostanze solide diverse, veggo formarsi degli spettri variamente lunghi, e nei quali gli spazi occupati dai vari colori, benchè sieno collocati nell'ordine stesso, non sono più eguali: posso ottenere, costruendo prismi di una stessa forma, degli spettri egualmente lunghi, nei quali però i vari colori occupino uno spazio diverso. È questo ultimo fatto che Newton negava. Egli diceva che gli spettri erano tutti proporzionali, e che se un corpo deviava di più i raggi di un tal colore, deviava proporzionalmente anche i raggi degli altri colori.

L'esperienza ha provato, ciò che Eulero aveva ammesso coi ragionamento e che Newton negava, che possono esservi due sostanze di cui una refranga i raggi di un certo colore di più dell'altra, e meno di questa i raggi di un altro colore: ne viene dalla scoperta di Dollond che i colori dei vari spettri, benchè sieno sempre disposti nello stesso ordine, vi occupano però degli spazi diversi. Un prisma di *flint-glass* dà proporzionalmente meno di color rosso e più di violetto, di quello che dà un prisma di *crown-glass* o d'altre sostanze. Gli angoli di dispersione che le due sostanze suddette producono non sono nello stesso rapporto degli angoli di deviazione; la dispersione non è proporzionale alla refrazione. Ciò ammesso s'intende come possa costruirsi un prisma *acromatico* da cui un raggio di luce sia deviato, senza essere scomposto, senza dare spettro. Consideriamo un prisma di *crown* traversato da un fascio di luce bianca. Se di dietro a questo prisma se ne colloca un altro, pure di *crown*, disposto inversamente, cioè che abbia l'angolo refrangente in basso, mentre il primo lo ha in alto, in modo che sieno parallele le facce dei due prismi che si mettono a contatto, il fascio traverserà il doppio prisma senza scomporsi e senza esser deviato, come traversa una lamina a facce parallele. Supponiamo ora di prendere due prismi di sostanze diverse, e dotate di una diversa facoltà dispersiva. È questa l'esperienza colla quale Dollond scoprì l'acromatismo. Questo celebre Ottico prese due prismi, uno dei quali era pieno di un liquido e ad angolo variabile, e l'altro era di vetro e quindi ad angolo costante. I due prismi erano disposti inversamente coi loro angoli: facendo passare un raggio di luce bianca nei due prismi riuniti, vide che variando l'angolo del prisma mobile, si otteneva, per un certo angolo di questo prisma, un raggio emergente il quale era deviato e tuttavia bianco. Col mezzo di molti tentativi gli Ottici determinano gli angoli che bisogna dare ai due prismi riuniti e fatti di due sostanze diversamente dispersive, perchè il sistema sia acromatico: il risultato generale al quale son giunti è che l'acromatismo ha luogo quando gli angoli refrangenti dei due prismi sono in ragione inversa dei loro coefficienti di dispersione, e questo risultato è conforme alla teoria. Coi prismi disposti inversamente, di un angolo eguale e della stessa sostanza, non v'è nè deviazione nè colorazione; i due spettri sono, in questo caso, necessariamente della stessa lunghezza; per ciò si sovrappongono i loro colori e si riproduce la luce bianca. Mettendo invece di un prisma eguale a contatto del primo, un altro di una facoltà dispersiva maggiore e di un angolo minore, s'ottengono due spettri in cui si sovrappongono i colori complementari: il raggio seguita perciò ad esser deviato, benchè sia stato ridotto bianco. Vi sono delle formole algebriche molto semplici, colle quali può determinarsi l'angolo dei due prismi diversi perchè si ottenga la riunione dei due raggi estremi: la riunione di questi due, basta, nei maggior numero dei casi, perchè la colorazione riesca appena sensibile.

LEZIONE XC.

Delle lenti. — Microscopio semplice. — Lanterna magica — Camera oscura. — Microscopio solare. — Camera lucida. — Microscopio composto.

Esporremo in questa lezione la teoria degl'istromenti ottici i più importanti: questa teoria si fonda generalmente sopra quelle proprietà della luce che già abbiamo studiate. Il soggetto sarebbe vastissimo, ed escirei troppo dai limiti di questo Corso, se volessi occuparmene con tutta l'estensione di cui è suscettibile; oltre di che richiede delle cognizioni di analisi matematica che non devo supporre in voi. Mi limiterò per conseguenza a dirvene quelle generalità che servono con una sufficiente esattezza ad intendere la maniera di agire degli istrumenti ottici che si trovano più di frequente nelle mani dei Naturalisti.

È necessario che prima vi parli delle lenti, e delle deviazioni che esse fanno soffrire ai raggi luminosi che vi si trasmettono. Sa ognuno di voi che per *lente* s'intende un pezzo di vetro di un corpo diafano qualunque terminato da due superficie sferiche, o da una superficie piana e da una sferica. Si giunge a dare la forma della lente che si desidera ad un pezzo di vetro, confricandolo e levigendolo con certe polveri minerali a contatto di piatti metallici che sono stati o incavati o rotondati col tornio. Nel maggior numero dei casi le lenti sono di vetro o di cristallo; se ne formano però anco di quarzo, di zaffiro e di diamante. S'usano eziandio delle lenti fluide che si fanno empiendo di un liquido lo spazio compreso fra due vetri incurvati e riuniti, come sarebbero due vetri da orologio.

Distinguiamo le lenti in *convergenti* e in *divergenti*: le prime [*Fig.* 32 e 33] sono convesso-convesse, convesso-piane: la lente della *Fig.* 57 è il così detto *menisco convergente*, che è formato da due superficie sferiche l'una concava e l'altra convessa, la prima delle quali ha un raggio maggiore della seconda. Le lenti divergenti o bi-concave sono quelle delle *Figure* 34 a 35, una delle quali è concavo-concava, e l'altra piano-concava. Infine la *Fig.* 58 rappresenta il *menisco divergente*, che è formato da due superficie l'una concava e l'altra convesea, in cui il raggio della prima è più piccolo del raggio della seconde. Basta di prendere una lente in mano per accorgersi a quale delle due categorie appartiene: se la lente è più grossa in mezzo che agli orli è convergente ed è divergente nel caso contrario. Chiemasi asse della lente la linea c c' che congiunge i centri di curvatura delle due superficie: per le lenti piano-convesse, o piano-concave l'asse è la perpendicolare c p abbassata sul piano dal centro di curvatura.

È assai facile ed osservarsi la proprietà che distingue le lenti convergenti dalle divergenti. Eccovi dei recipienti di cristallo che hanno delle lenti fisse ad una delle loro facce. S'empiono questi vasi d'acqua, e si fa entrare nell'oscurità un fascio di raggi solari nella stanza dirigendolo sulle lenti. Se il fascio cade sulle lenti convergenti, vedete che questo fascio dopo averle traversate, si raccoglie, si concentra in un punto, dal quale poi seguitano a divergere tutti i raggi che vi sono riuniti. È questo punto in cui si raccoglie un fascio di raggi paralleli mandati sulla lente, che dicesi *foco principale della lente*. Se la lente è divergente, si vede il fascio divergere, ed i raggi luminosi emergono dalla lente come se partissero da un punto collocato dalla parte stessa della lente per cui entrano i raggi. E questo punto chiamasi *foco virtuale*, perchè in realtà non esiste. Ricordatevi il modo con cui un prisma opera sui raggi luminosi, ed intenderete facilmente come agiscono le lenti. Infatti le superficie curve da cui sono terminate le lenti possono esser considerate come formate da un numero infinito di piccole superficie piane appartenenti a tanti prismi troncati. Questi prismi hanno la loro base rivolta verso l'asse della lente nel caso delle lenti convergenti, ed hanno invece le basi rivolte verso gli orli delle lenti nel caso delle lenti divergenti. Nel primo caso i raggi sono deviati verso la base, convergono nell'asse; nel secondo i raggi, egualmente deviati, divergono verso gli orli.

Volendo determinare il foco principale di una lente, basta di esporla in faccia el sole e di far muovere dalla parte opposta un vetro spulito o un fogiio di carta. Il foco principale si trova in quel punto in cui l'immagine del sole è la più piccola, e nello stesso tempo la più distinta e la più illuminata. In questo stesso punto o foco si raccolgono anche i raggi calorifici che accompagnano la

luce solare, ed è perciò che giungiamo ad accender la polvere e l'esca ed anche a fondere i corpi i più refrattarii, mettendoli al foco delle lenti convergenti. Distinguiamo anche le lenti a foco lungo o corto, secondo la diversa lunghezza delle distanze focale, e queste non sono indifferentemente usate nella costruzione degli strumenti ottici.

Conviene osservare che non tutti i raggi paralleli che cadono sopra una lente, convergono e vengono a riunirsi in uno stesso punto: i raggi che si presentano agli orli della lente hanno un foco più corto, e perciò distinto da quello dei raggi che entrano vicini all'asse. Ecco perchè volendo delle immagini ben nette ed illuminate, non convien mai adoperare delle lenti con aperture molto grande, in cui, cioè, sia molto grande l'angolo sotto il quale questa lente è vista dal foco principale. Le lenti in cui quest'angolo supera 10° o 12°, soffrono dell' *aberrazione di sfericità*; così si chiama la proprietà dei raggi che cadono presso gli orli delle lente, di non concorrere nello stesso punto in cui si concentrano quelli che passano presso il centro.

Presentando ad una lente convergente un corpo luminoso, come la fiamma d'una candela, è facile di studiare per mezzo d'un vetro spulito o d'un diaframma, quali sono le dimensioni e le distanze dalla lente delle immagini di questa fiamma che si formano dalla parte opposta. Se la fiamma è posta ad una grande distanza dalla lente, l'immagine è al foco principale: ogni punto della fiamma o dell' oggetto luminoso ha un foco particolare, ed è la serie di questi fochi che forma l' immagine dell' oggetto luminoso. L'immagine è la più piccola possibile, ed è necessariamente rovesciata, poichè l'asse ottico di ogni punto sul quale si trova il foco di questo punto, passa per il centro della lente. A misura che l'oggetto luminoso, la fiamma, s'avvicina alla lente, l'immagine s'allontana dalla parte opposta, continua ad esser rovesciata, ed ingrandisce: essa diviene eguale in grandezza all'oggetto, allorchè questo si trova ad una distanza dalla lente, doppia della distanza focale. Continuando ancora ad avvicinare l'oggetto, la sua immagine continua a formarsi al di là, e, sempre rovesciata, cresce in grandezza e in distanza dalla lente a proporzione che l'oggetto si avvicina. Diviene infinitamente grande e lontana dalla lente quando l' oggetto è infinitamente vicino al foco: a questo punto l' immagine va a formarsi all' infinito, i raggi escono paralleli, l'immagine non è in realtà più visibile. Movendo una fiamma d'innanzi ad una lente convergente e raccogliendo dall' altro lato l' immagine sopra un diaframma di carta o sopra un vetro spulito, si verificano facilmente le proprietà suddette. Se si seguita ad avvicinare l' oggetto alla lente a modo che la sua distanza sia minore della distanza focale, non v'è più immagine reale dalla parte opposta della lente; v'è invece un' immagine virtuale, diritta come l'oggetto, la quale si forma dalla parte stessa dell' oggetto. Questa immagine diviene sempre più grande a misura che l' oggetto s' avvicina alla lente, e vien formata dai raggi luminosi divergenti che emergono dalla lente e che si veggono convergenti nei punti in cui l' immagine virtuale si forma. Nella *Fig.* 68 si vede la strada tenuta dai raggi che partono dall' oggetto $b\ a$, posto dentro la distanza focale, e di cui si vede in $b'\ a'$ l'immagine virtuale. Qualunque sia l'oggetto che guardiamo con una lente convergente, posto vicino alla lente stessa e dentro la sua distanza focale, noi lo vediamo ingrandito e nella sua posizione.

V'è una formola molto semplice che contiene tutte le proprietà da noi esposte delle lenti convergenti. Questa formola è

$$\frac{1}{M}=\frac{1}{F}-\frac{1}{B},$$

in cui F è la distanza del foco principale, M la distanza dell'immagine dal centro della lente, e B quella dell'oggetto luminoso: se la lente è divergente, la formola diviene

$$\frac{1}{M}=\frac{1}{F}+\frac{1}{B}.$$

La distanza focale è determinata dall' altra formola

$$F=\frac{R\ R'}{(N-1)(R'-R)},$$

in cui R ed R' sono i raggi di curvatura della lente, ed N l'indice di refrazione della sostanza di cui è composta. Pochi esempi bastano a mostrare l' uso di queste formole. Se $B=\infty$, cioè se i raggi entrano paralleli, si ha $M=F$, cioè la distanza dell'immagine è la distanza focale: quando $B=2\ F$, anche $M=2\ F$, ossia l'immagine si forma ad una distanza doppia della focale, quando l'oggetto è a questa stessa distanza. Se $B=F$, ossia l'oggetto al foco, si ha

$$M=\infty.$$

Infine quando $B=\frac{F}{2}$, ossia quando l' oggetto è più vicino del foco alla lente, si ha $M=-F$. Questo valore negativo per M, significa un cangiamento nella posizione del foco, vuol dire che l'immagine è virtuale.

Gli usi delle lenti sono, dopo ciò che si è detto, essai facili ad intendersi. Volendo concentrare la luce in un piccolo spazio, si

adoprano sempre delle lenti convergenti. Quelle palle di vetro piene d'acqua, che certi artefici adoperano mettendovi di dietro la fiamma, servono come lenti a concentrare la luce in un piccolo spazio. Volendo ottenere una temperatura molto alta, si possono concentrare i raggi solari con una lente molto grande o meglio con delle strisce anulari concentriche, di cui la superficie sieno formate in modo da aver tutte la stessa distanza focale: l'oro, il platino, il quarzo, possono fondersi con queste lenti. Volendo spargere della luce a grandi distanze, si adoperano delle lenti convergenti si cui fuoco si colloca la sorgente luminosa. I raggi emergono paralleli, e si diffondono a grandi distanze senza soffrire altro indebolimento d'intensità che quello risultante dalla facoltà assorbente del mezzo percorso.

Fresnel ha costruiti dei fanali per i porti di mare con delle lenti, dette dai Francesi *echelons*, le quali consistono in otto grandi vetri lenticulari quadrati, che formano riuniti un prisma ottagonale, di cui il centro coincide col foco comune delle lenti. In questo punto si trova la sorgente luminosa formata da una lampada a tre lucignoli circolari e concentrici. Tutto l'apparecchio ha un movimento uniforme di rotazione intorno a se stesso, e in questo modo i fasci luminosi incontrano successivamente gli stessi punti dell'orizzonte ad intervalli eguali di tempo. La luce di questi fanali è visibilissima alla distanza di 16000 tese. Si costruiscono in oggi fanali sopra questi principi, che si scorgono di notte alla distanza di 23 leghe di posta.

L'uso principale delle lenti è quello di servire a distinguere i piccoli oggetti: sono allora microscopi semplici. Il microscopio semplice serve a far vedere distintamente dei piccolissimi oggetti, i quali, se fossero posti a quella distanza a cui vedremmo aver luogo la visione distinta, a circa 30 centimetri dall'occhio, manderebbero all'occhio stesso una luce troppo debole e circoscritta in uno spazio troppo limitato della retina per produrvi un'immagine abbastanza distinta. Volendo vedere l'oggetto con delle dimensioni più grandi, basterebbe di avvicinarlo molto all'occhio: in questo caso però l'immagine, come ognun sa, è confusa, e ciò per la divergenza troppo grande con cui entrano i raggi nell'occhio. Una lente di un foco cortissimo posta fra l'occhio e l'oggetto, dà ai fasci luminosi che ne emergono quella divergenza che è necessaria perchè l'oggetto sia visto distintamente. L'oggetto è posto ad una certa distanza X dalla lente minore della distanza focale F: si ha [*Fig.* 68] un'immagine virtuale che è ingrandita e portata alla distanza M della visione distinta. La formola del microscopio semplice è $\frac{1}{X}-\frac{1}{M}=\frac{1}{F}$, da cui $X=\frac{MF}{M+F}$. L'ingrandimento è espresso da $\frac{M}{X}=1+\frac{M}{F}$: è perciò tanto più grande quanto più è corto il foco della lente. Per costruire lenti di un foco cortissimo e quindi capaci di grande ingrandimento, si fa fondere un filo sottile di vetro a modo che formi una piccola goccia, la quale s'incassa in un foro fatto in una lamina di piombo. Può anche fondersi il vetro in un foro fatto in una lastra di platino. Si formano oggi delle lenti o microscopi semplici col diamante: malgrado la gran durezza di questo corpo, si è giunti a lavorarlo e a ridurlo a lenti, dando alle forme metalliche sopra cui si confrica una grandissima velocità di rotazione. Le lenti di diamante hanno un foco assai più corto delle lenti di vetro sotto la stessa curvatura, per la gran facoltà refrangente di questa sostanza.

Gli altri strumenti ottici di cui voglio dir vi una parola, si fondano interamente sulla proprietà di una lente convergente a cui l'oggetto è presentato ad una distanza maggiore della distanza focale. Sappiamo già che in questo caso l'immagine si forma dalla parte opposta della lente rovesciata, e tanto più ingrandita quanto più l'oggetto è vicino al foco della lente. Chiamando p e p' le distanze dell'oggetto e della sua immagine dalla lente, l'ingrandimento è nel rapporto di $\frac{p'}{p}$.

La *camera oscura* la più semplice consiste in una lente convergente che è applicata ad un foro fatto nello scuro di una finestra. Se la stanza è buia, può vedersi l'immagine rovesciata di tutti gli oggetti compresi nel campo della lente. Onde aver comodo di disegnare questi oggetti ed averli nella loro posizione, si adotta la costruzione della *Fig.* 76. Al di sopra della lente e fuori della camera ottica, v'è uno specchio che si tiene più o meno inclinato, e su cui si riflettono gli oggetti che vanno a formare l'immagine nell'interno della camera ottica. Si ottiene lo stesso risultato per mezzo di un *prisma menisco* (*Fig.* 64), di cui la base *a b* fa l'officio dello specchio riflettente, mentre le facce *a c* e *e b* fanno da lente convergente.

Il *microscopio solare*, che è l'istrumento ottico di cui gli effetti son certamente fra i curiosi ed i più popolari dell'ottica, si com-

pone di uno specchio che riflette i raggi solari sopra un sistema di lenti convergenti a foco lungo, le quali servono ad illuminare dei piccoli oggetti posti al loro foco, e di una o più lenti a corto foco onde aver l'immagine reale e rovesciata di questi oggetti sopra un diafragma. Gli oggetti così illuminati sono posti al di là della distanza focale del secondo sistema di lenti. Tutte queste lenti devon essere acromatiche, perchè le immagini non si mostrino colorate. Gli oggetti son collocati fra due lamine di vetro. Quest'istrumento è certamente il più potente che possediamo per ingrandire gli oggetti; siamo però costretti a rinunziarvi per l'alterazione rapida che avviene negli oggetti osservati, a cagione del forte riscaldamento che soffrono. Si cerca oggi di rimediare a questo difetto adoperando per sorgente luminosa la fiamma del gas ossidrogene spinta contro un pezzo di calce viva.

La *lanterna magica* è un microscopio solare in cui la luce è prodotta da una fiaccola posta al foco di uno specchio concavo. Gli oggetti così illuminati son dipinti sopra delle lastre di vetro, e si trovano collocati al di là del foco della lente. Le immagini son ricevute sopra una tela bianca o sulla parete di un muro. Per osservare le immagini diritte si collocano gli oggetti dipinti rovesciati. Facendo variare la distanza dell'oggetto alla lente e quella di tutta la lanterna magica dal quadro bianco o muro su cui l'immagine è ricevuta, si ottengono delle immagini di grandezza diversa, e giudichiamo nell'oscurità che ora s'avvicinino, ora s'allontanino da noi. Perciò la lanterna magica si monta sopra un carretto: e questa la *fantasmagoria*.

Fra gli strumenti ottici molto utili, v'è anche la *camera lucida* di Wollaston. Questa consiste (*Fig.* 66) in un prisma quadrangolare $a\ b\ c\ d$, di cui b è un angolo retto e d un angolo ottuso di 135°. La faccia $c\ b$ è rivolta verso l'oggetto che si vuol disegnare: il fascio luminoso che parte da quest'oggetto si riflette totalmente prima in r poi in r' e viene infine ad emergere perpendicolarmente alla faccia $a\ b$ del prisma. Se l'occhio è posto al disopra della faccia $a\ b$ del prisma, a modo che il suo mezzo corrisponda al vertice a, è evidente che colla metà anteriore della pupilla si vedrà per riflessione l'immagine dell'oggetto x sul prolungamento di $e\ r'$, e che coll'altra metà della pupilla si vedrà direttamente il punto del quadro orizzontale su cui l'immagine si progetta. Quindi tenendo la mano la penna e fissandola sopra questo punto, si potranno distinguere nello stesso tempo l'immagine e la punta della penna, e perciò tracciarne i contorni più fini.

Devo infine parlarvi degl'istrumenti ottici composti. Questi consistono principalmente in due lenti o sistemi di lenti, uno dei quali si chiama *l'obbiettivo* e l'altro l'*oculare*. Il primo sistema riceve i raggi dell'oggetto, e forma dalla parte opposta una immagine rovesciata, la quale è guardata con l'altro sistema, come si guarda un oggetto con un microscopio semplice: per il primo gli oggetti sono al di là della distanza focale, per il secondo son dentro alla distanza focale. Quindi l'ingrandimento è il prodotto degl'ingrandimenti che risultano dai due sistemi. I due sistemi di lenti son collocati sopra lo stesso asse e fissati solidamente alle pareti di un tubo formato di diversi pezzi concentrici, i quali possono scorrere l'uno dentro l'altro a modo da far variare la distanza fra loro. Il tubo deve essere internamente annerito onde assorbire i raggi obbliqui che cadono sulla sua superficie: vi sono anche nel suo interno dei diaframmi circolari, pure anneriti, onde distruggere i raggi che sono troppo inclinati all'asse. I due sistemi devono essere formati di lenti acromatiche.

La *Figura* 63 rappresenta la disposizione data generalmente al microscopio composto. La lente b è l'obbiettivo, alla quale l'oggetto è presentato alquanto al di là della distanza focale: la lente c è l'oculare o il microscopio semplice con cui si guarda l'immagine formata dalla prima lente, facendo in modo che questa si trovi dentro la distanza focale. Volendo costruire un microscopio composto più comodo per l'osservatore, si tiene l'obbiettivo in b' verticalmente, e per mezzo del prisma r si fanno ripiegare i raggi orizzontalmente sopra l'oculare. L'osservatore con questa disposizione sta seduto. Devonsi al Prof. Amici i più importanti perfezionamenti che si son fatti al microscopio composto in questi ultimi tempi. La *Fig.* 77 rappresenta un microscopio di Chevallier costruito sopra i perfezionamenti introdotti dall'Amici. L'obbiettivo è in b, in r il prisma, in c l'oculare. Onde illuminare gli oggetti trasparenti che si vogliono osservare, si collocano fra due lamine sottili di vetro bagnandoli prima con una goccia d'acqua pura, che serve a rendere l'immagine più distinta. Le due lamine si collocano sull'apertura del *porta-oggetto*, nella quale si fissano per mezzo del pezzo $d\ v$ che s'abbassa e si fissa andando stretto nel foro k. Lo specchio concavo m raccoglie i raggi del cielo o di una lampada, per dirigerli sopra l'oggetto. Le viti p e p' servono per mettere e fissare il porta-oggetto al posto conveniente,

che si determina guardando l'immagine. Onde illuminare i corpi opachi s'usa uno specchio o una lente, che si fissa al disopra del porta-oggetto. S'infila all'estremità del tubo del microscopio e presso l'oculare, un disco grande di cartone tinto nero, il quale serve a distruggere tutti i raggi che potrebbero cadere sull'occhio dell'osservatore.

Per determinare l'ingrandimento si adopera una camera lucida la quale si adatta all'oculare, di cui si fa uso onde vedere nello stesso tempo un micrometro di vetro messo come oggetto, e un regolo diviso posto nella verticale dell'oculare a una distanza conveniente. L'immagine ingrandita dal micrometro si progetta sopra il regolo diviso; in tal modo si possono leggere facilmente le divisioni che v'occupa. Col microscopio dell'Amici si ottengono degl' ingrandimenti perfino di 4000 volte il diametro dell'oggetto: basta però l'ingrandimento di 800 volte; ed è anzi con questo che le immagini sono le più distinte.

Il cannocchiale astronomico il più semplice si compone, come il microscopio, di due sistemi di lenti, cioè dell'obbiettivo e dell'oculare: la differenza è nelle più grandi dimensioni che ha l'oculare nel cannocchiale, onde raccogliere maggior luce. Gli oggetti essendo molto lontani, l'immagine si fa sensibilmente al foco principale dell'obbiettivo; l'oculare non è che un microscopio semplice con cui si guarda l'immagine rovesciata che fa l'obbiettivo, e dal quale si ha l'immagine virtuale ingrandita. L'ingrandimento del cannocchiale astronomico dipende dalla distanza focale più lunga che ha l'obbiettivo e dalla più corta possibile che ha l'oculare. La difficoltà di costruire dei grandi obbiettivi esenti da difetti e la necessità di conservare l'immagine bastantemente illuminata, assegnano un limite all'ingrandimento prodotto dal cannocchiale, il quale infatti non supera da 1000 a 1200, coi migliori fra quest'istrumenti.

In alcuni telescopi l'immagine osservata coll'oculare è formata per mezzo di grandi specchi concavi.

LEZIONE XCI.

Dalla visione.— Descrizione dell'occhio.— Come si fa la visione? — Giudizio della distanza, della grandezza e della solidità di un corpo per mezzo della visione.— Persistenza delle impressioni sulla retina.— Immagini e colori accidentali.— Influenza reciproca dei colori vicini. — Teoria delle apparenze accidentali.

Le cognizioni che abbiamo acquisiate studiando gli strumenti ottici, ci serviranno ad intendere il più perfetto, ed il più importante fra tutti questi. Nulla sapremmo delle proprietà della luce, che abbiamo studiate, nulla forse di ogni cosa, se non fossimo dotati dell'organo della vista.

I raggi luminosi che partono dagli oggetti esterni attraversano le diverse parti dell'occhio, ed è forza, per intendere come la visione si opera, che noi impariamo a conoscere la strada che questi raggi fanno per giungere sino alla retina o al nervo ottico, di cui la retina stessa non è che un'espansione. È anzi di questa parte sola che noi dobbiamo occuparci, giacchè sino alla retina i raggi luminosi rimangono interamente soggetti alle leggi fisiche della luce.

Cominciamo dal descrivere la forma dell'occhio e di tutte le parti che lo compongono. L'occhio è contenuto in una cavità, che chiamasi *orbita* dell'occhio. La forma presso a poco sferica dell'occhio, è mantenuta da un inviluppo esteriore formato da una membrana fibrosa di un tessuto solido, opaca nella porzione posteriore, che è per ciò detta *cornea opaca* o *sclerotica*, e trasparente nella sua parte anteriore dove ha una curvatura maggiore, e che è detta *cornea trasparente*. Due membrane vi sono tese per traverso, e fissate in quel punto in cui la cornea trasparente e l'opaca si congiungono. Una di queste membrane è l'*irida*, ed è quella che dà il colore all'occhio: questa membrana è opaca, composta di fibre muscolari che sono in parte circolari e in parte irraggiano dal suo centro: v'è in questo punto un foro circolare che chiamasi pupilla, e di cui la grandezza può variare secondo la varia intensità della luce.

L'altra membrana collocata di dietro all'iride è la così detta *cristalloide*, nella quale è come incassato un corpo solido diafano di forma lenticolare, detto il *cristallino*. Sulla faccia interna della sclerotica opaca è distesa una membrana di color nero detta *coroide*, la quale è pure ricoperta da una membrana sottile, semi-trasparente, formata dall'espansione della parte midollare del nervo ottico, il quale s'impianta nel fondo dell'orbita. Quest'ultima membrana è la *retina*. Le due cavità o camere dell'occhio separate fra loro dall'iride e dal cristallino, sono ripiene l'una cioè l'anteriore, di un liquido che è di poco diverso dall'acqua leggermente carica di sal marino, ed

è perciò detto umor *acqueo*, e l'altra contiene un liquido più denso detto *vitreo*. Esaminando con attenzione il cristallino si trova che è composto di strati di densità diverse, e di cui la facoltà refrangente va crescendo dalla circonferenza al centro. Chiamasi infine *asse ottico* la linea secondo la quale è diretto l'asse di figura dell'occhio nell'atto della visione distinta. Ecco le dimensioni medie delle diverse parti dell'occhio umano.

	millimetri
Raggio di curvatura della cornea opaca	10 a 11
Raggio di curvatura della cornea trasparente.	7 a 8
Diametro dell'iride.	11 a 12
Id. della pupilla	3 a 7
Grossezza della cornea trasparente.	1
Distanza della pupilla alla cornea.	2
Raggio anteriore del cristallino. .	7 a 8
Id. posteriore del cristallino .	5 a 6
Diametro del cristallino . . .	10
Grossezza del cristallino . . .	5
Lunghezza dell'asse ottico. . .	22 a 24

Vi darò infine i numeri che esprimono gl'indici di refrazione delle diverse sostanze trasparenti che sono contenute nell'occhio. L'indice dell'umor acqueo differisce di poco da quello dell'acqua, ed espresso da 1,336; quest'indice è 1,337: per l'umor vitreo l'indice è 1,339: per la parte esterna del cristallino è 1,377, per la media 1,379 e per la centrale 1,3 9.

Negli animali le parti dell'occhio umano che abbiamo descritto, mostrano qualche differenza. In alcuni uccelli il cristallino è quasi sferico, e in tutti la cornea trasparente è molto convessa. Nei pesci invece, la cornea è quasi piana. La coroide è di un diverso colore nei vari animali.

Dopo questa descrizione dell'occhio, ci sarà facile d'intendere in un modo generale quale è la strada che i raggi luminosi vi fanno. L'occhio non differisce da un sistema di lenti convergenti, ed è un apparecchio che può considerarsi analogo ad una camera ottica. Un fascio di raggi che partono da un punto luminoso situato sull'asse dell'occhio, traversa la cornea trasparente, penetra nell'umore acqueo, in cui la sua divergenza diminuisce per una prima refrazione: alcuni dei raggi, quelli che formano la porzione centrale, passano per la pupilla e vengono a refrangersi entrando nel cristallino, che è una vera lente convergente; escono da questa lente, traversano l'umor vitreo di cui la facoltà refrangente è assai minore di quella del cristallino; e se il punto luminoso è ad una distanza conveniente dall'occhio i suoi raggi vanno necessariamente a convergere in un punto o foco situato sulla retina, o vicino a questa membrana, dove formano l'immagine rovesciata del punto luminoso. Nella *Fig.* 61 si vede la strada dei raggi nell'occhio, e la formazione dell'immagine nel suo interno. Vi è un'esperienza assai semplice che prova la formazione di quest'immagine al fondo dell'occhio. Se in una stanza oscura si tiene d'innanzi alla fiamma di una candela e ad una distanza conveniente, l'occhio di un coniglio albino di cui la cornea, così detta opaca, è semitrasparente, si vede distintamente sopra questa membrana l'immagine rovesciata della fiamma. Eccovi l'occhio di un bue la di cui cornea opaca è stata molto assottigliata e resa così semitrasparente: ognuno di voi vede sopra di questa membrana l'immagine rovesciata della fiamma che vi è d'innanzi. Calcolando per mezzo della formola delle lenti convergenti e delle dimensioni e delle facoltà refrangenti delle diverse parti dell'occhio si trova, che se un oggetto è collocato a circa trenta centimetri dall'occhio, i suoi raggi hanno a questa distanza la divergenza conveniente per andare a convergere nell'occhio in un punto della retina. È perciò naturale di conchiudere, che la visione o la sensazione di un corpo che manda dei raggi luminosi al nostr'occhio, è dovuta alla modificazione determinata nella retina della luce concentrata in tutti i punti di questa membrana in cui l'immagine del corpo si forma, e alla trasmissione di questa modificazione all'anima per mezzo del nervo ottico. Qualunque sia il modo con cui la retina è eccitata, è sempre una sensazione di luce che si prova: il passaggio dell'elettricità, un urto, una compressione qualunque nell'occhio e quindi sulla retina, ci danno delle apparenze luminose. È questo l'effetto della proprietà specifica dei nervi dei sensi: ogni eccitamento sopra di loro si risolve sempre in una determinata ed unica sensazione che vi è risvegliata, e che è quella appartenente specialmente a quel senso. La retina su cui si forma l'immagine degli oggetti luminosi è meno affetta nei punti dell'immagine che sono meno illuminati; lo è di più in quelli che hanno maggior luce; non lo è affatto nei punti che rimangono oscuri. Se l'immagine dell'oggetto luminoso non si formasse sulla retina, se l'occhio si componesse di questa sola membrana, senza l'apparecchio lenticulare, la visione d'un oggetto non potrebbe mai essere distinta: tutto si ridurrebbe a distinguere la notte dal giorno, le tenebre dalla luce. Con quest'apparecchio l'azione della luce si limita in una certa porzione della retina, por-

zione che rappresenta esattamente nella sua forma l'oggetto da cui viene la luce. È dunque una condizione della visione che l'immagine si formi sulla retina, che il foco dei raggi luminosi vada a formarsi su questa membrana. Aggiungerò ancora che per una osservazione curiosa dovuta a Mariotte, non è indifferentemente in tutti i punti della retina che dall'immagine che vi è sopra formata, ne risulta la visione. Sopra un piano nero orizzontale si guardino verticalmente tre dischetti bianchi posti sulla stessa linea e distanti da cinque o sei centimetri l'uno dall'altro, collocati alla distanza di 12 o 15 centimetri dall'occhio. La verticale del naso dell'osservatore cada sul dischetto di mezzo; si chiuda uno degli occhi, e coll'altro si miri il dischetto di mezzo; in questa posizione non è più visibile il dischetto collocato sotto l'occhio aperto. Torna ad esserlo variando la distanza dell'occhio. Si apra l'occhio chiuso, si chiuda l'altro, e coll'aperto si guardi il dischetto di mezzo, sparisce allora il disco sottoposto. Quel punto della retina in cui si forma l'immagine del dischetto che rimane invisibile, corrisponde all'origine del nervo ottico.

È dunque certo che acciò la visione sia ben distinta, deve il nostr'occhio collocarsi in modo che l'immagine si formi sui punti sensibili della retina e vi si faccia più netta e più ristretta possibile.

La prima ricerca che ora si presenta è quella di conoscere come questa condizione sia sempre soddisfatta, essendo così varia la distanza alla quale noi possiamo vedere gli oggetti. Una stella è vista distintamente quanto lo è un corpo collocato a pochi centimetri; basta che l'estensione dell'oggetto, o per meglio dire l'intensità della sua luce, cresca colla distanza, perchè sia visto distintamente. Eppure l'immagine di un corpo luminoso or s'allontana, or s'avvicina alla lente, secondo che il corpo s'avvicina o s'allontana dalla parte opposta della lente stessa. È dunque certo che l'occhio per un atto della nostra volontà s'adatta per vedere alle diverse distanze: e difatti se si guarda un corpo, una macchia nera p. es., fatta sopra un vetro, collocandola a diverse distanze dall'occhio, si ha una immagine confusa degli oggetti più o meno distanti dalla macchia, mentre questa è vista distintamente, e ciò accade in tutte le diverse posizioni o distanze a cui si tiene la macchia. È anche vero che mentre, per un occhio sano, la visione si fa senza alcuno sforzo sensibile alla distanza di circa 30 centimetri, questo non è più per delle maggiori o delle minori distanze. Onde spiegarci la proprietà che ha l'occhio di adattarsi a vedere distintamente gli oggetti che sono a distanze diverse, è necessario di ricorrere ad una delle due ipotesi seguenti: o si ammette che la retina tramandi al cervello la sensazione distinta di un punto luminoso, non solamente quando i suoi raggi si raccolgono sopra uno solo dei suoi punti, come avviene quando vengono dalla distanza di circa 30 centimetri, ma ancora quando vi si riuniscono in un piccolo spazio circolare molto limitato; oppure si suppone che la curvatura della cornea trasparente e del cristallino varino per adattarsi alle diverse distanze, e che il cristallino si sposti, s'allunghi o s'accorci. Questa seconda ipotesi è assai difficile ad ammettersi; niente prova questi supposti cangiamenti nella forma dell'occhio, oltre di che nulla v'è nell'organizzazione del cristallino e della cornea che possa farne variare la curvatura. Ciò che può dirsi di più probabile onde spiegare questa proprietà dell'occhio, è questo: allorchè si guardano degli oggetti molto vicini, è un fatto dimostrato dall'esperienza, che la pupilla si stringe, ed è in questo modo che si veggono distintamente, come si veggono ancora degli oggetti vicinissimi e quasi a contatto dell'occhio, guardandoli per un piccolo foro fatto in una carta. Al contrario, la pupilla s'allarga per vedere distintamente gli oggetti lontani.

Nel primo caso si fanno entrare nel cristallino i raggi meno divergenti dell'oggetto, e si diminuisce così il diametro dell'immagine formata sulla retina; nel secondo si lasciano entrare anche i raggi i più divergenti. Quando si ammetta che per la sensazione distinta non sia necessario che il foco dei raggi si formi precisamente sopra la retina, può ben intendersi come la visione si conservi distinta alle diverse distanze, venendo in ciò favorita dalla diversa grandezza della pupilla. Il foro piccolo con cui si veggono gli oggetti molto vicini, serve appunto ad arrestare i raggi molto divergenti, che non anderebbero a riunirsi sopra la retina. Questo modo di considerare la visione alle diverse distanze, benchè non esente da obiezioni, è di certo meno inesatto di quello che suppone delle variazioni nella curvatura della cornea. Vi sono bensì di queste variazioni, ma permanenti, e formano i vizi della vista.

I *presbiti* che hanno la vista molto lunga e che veggono distintamente gli oggetti a due o tre piedi di distanza, la loro cornea è assai meno convessa di quella che ha un occhio sano: ed è infatti un difetto che per solito accompagna la vecchiaia e tien dietro al prosciugamento generale di tutti i tessuti. Per questo schiacciamento della cor-

pra, il foco dei raggi che partono dal punto della visione distinta ordinaria anderebbe a farsi al di dietro della retina; e perchè questo foco si formi sulla retina, conviene che un presbita tenga l'oggetto lontano. Tutti i presbiti hanno abitualmente la pupilla poco aperta, come se facessero uno sforzo continuo per servirsi del centro del cristallino ossia della parte più refraugente, onde vedere gli oggetti alla distanza della vista sana. Il rimedio a questo difetto è l'uso delle lenti convergenti, le quali diminuiscono la divergenza dei raggi prima che entrino nell'occhio. In tal guisa la divergenza dei raggi che partono da un oggetto collocato alla distanza della visione sana è modificata dalla lente, e ridotta quale sarebbe se l'oggetto fosse alla distanza a cui un presbita vede bene.

L'altro vizio della vista è il *miopismo*, che è dovuto invece ad una curvatura troppo grande della cornea trasparente; i raggi, in questo caso, che vengono dalla distanza della visione ordinaria formano il loro foco al di quà della retina. Si usano perciò dai miopi le lenti divergenti o concavo-concave. Queste lenti aumentano la divergenza dei raggi prima che entrino nell'occhio, per cui un oggetto collocato alla distanza della vista sana, si vede sotto quella divergenza che ha per un miope essendo tenuto molto vicino all'occhio. I menischi convergenti e divergenti, o le lenti *periscopiche* di Wollaston, servono meglio delle lenti ordinarie a correggere questi difetti. La grossezza di queste lenti è necessariamente minore delle lenti ordinarie, per cui meno luce è assorbita e gli oggetti rimangono più distinti.

L'organizzazione del cristallino per strati di diversa densità e facoltà refrangenti ci spiega perchè abbiano lo stesso foco i raggi che cadono sul centro del cristallino, e quelli che entrano presso la periferia. Oltre di che l'iride fa l'ufficio dei diaframmi nell'atmosfera, arrestando quei raggi che senza questa membrana cadrebbero in molta vicinanza degli orli del cristallino. Così può intendersi il non soffrire l'occhio di *aberrazione*.

L'acromatismo dell'occhio è forse dovuto alla distanza focale molto piccola dell'occhio: i raggi di diverso colore e di diversa refrangibilità non giungono perciò sulla retina abbastanza separati l'uno dall'altro per formarvi lo spettro.

Come giudichiamo noi della posizione, della distanza, della grandezza, in una parola, delle qualità di un oggetto e dei suoi rapporti cogli altri che lo circondano? qual è l'ufficio dei due occhi?

Tutto ciò che abbiamo detto sulla visione, si riduce ad avere stabilito che si forma sulla retina una immagine distinta e rovesciata dell'oggetto veduto, e che questo può anche accadere qualunque sia la sua distanza dall'occhio. Questa immagine non è però ancora la sensazione la quale non ha luogo se non quando la modificazione qualunque che ne prova la retina è stata trasmessa all'anima per mezzo del nervo ottico. Ma in qual modo risulti per noi la visione da questa modificazione impressa sulla retina dai raggi che vi mandano gli oggetti esteriori? La prima questione che si presenta a risolvere è quella della posizione degli oggetti. Si è molto scritto per intendere come le immagini formandosi al rovescio degli oggetti, noi vediamo gli oggetti al rovescio delle loro immagini. Veder gli oggetti al rovescio delle loro immagini è ciò che chiamiamo, veder gli oggetti diritti. Nello scorgere la posizione degli oggetti, nel vederli, come diciamo diritti, non facciamo altro che riferire la posizione delle diverse loro parti a quella dei corpi che li circondano. Senza di ciò, diritto e rovescio di un oggetto non avrebbero più significato per noi. Un uomo è diritto per noi quando i suoi piedi sono più della sua testa vicini alla terra: ora la sua immagine rovesciata sulla retina non altera la posizione rispettiva delle parti dell'uomo rispetto alla terra. Anche nell'immagine i piedi sono più della testa vicini alla terra. Se un oggetto si presenta a noi in una posizione rovesciata rispetto a quella in cui siamo abituati a vederlo, giudichiamo che è in questa posizione rovesciata perchè lo è pure nella sua immagine sulla retina rispetto alla nostra posizione, rispetto a quella in cui siamo soliti a vederlo. Sappiamo che un uomo, che ognuno di noi, ha i piedi sulla terra: quando nell'immagine d'un ballerino scorgiamo che la sua testa è vicina alla terra, lo veggiamo in una posizione rovesciata.

Giudichiamo della distanza e della grandezza degli oggetti in vario modo. Se gli oggetti fossero collocati ad una distanza costante, e fossero sempre egualmente illuminati, avremmo per misura della grandezza dell'oggetto quella dell'immagine formata sulla retina. La grandezza di tale immagine può dirsi, generalmente, proporzionale all'angolo *visuale* che fanno le due rette tirate dall'estremità dell'oggetto al centro della retina: è la grandezza di quest'immagine che chiamasi *grandezza apparente* dell'oggetto. Per giudicare della distanza, abbiamo la coscienza 1.° dei movimenti che fa l'occhio perchè il cono luminoso che invia l'oggetto sulla pupilla, più o meno divergente secondo la distanza, formi il suo foco sulla retina; 2.° la coscienza dei movimenti

con cui inclinamo più o meno l'uno sull'altro gli assi ottici dei due occhi onde farli convergere sopra un oggetto posto a diverse distanze. Quest'ultimo mezzo di giudicare delle distanze ci abbandona per gli oggetti molto lontani, essendo in questo caso quasi paralleli i due assi. È allora che siamo soggetti a delle illusioni: due lunghe file di alberi di egual grandezza, parallele fra loro, ci sembrano ravvicinarsi in distanza. Lo stesso ci sembra delle pareti laterali di una lunga galleria.

Anche l'intensità della luce che riceviamo da un oggetto e che sappiamo decrescere colla distanza è un elemento per giudicare della sua distanza: se non che avvengono talora dei cangiamenti nello stato dell'atmosfera che fanno variare la quantità di luce che essa assorbe, e che perciò rendono incerto questo dato. Finalmente nel giudizio della grandezza reale degli oggetti più o meno lontani da noi, combiniamo il giudizio della distanza con quello della grandezza, così detta apparente, che è misurata da quella dell'immagine fatta sulla retina. Gli errori che accompagnano spesso il giudizio della distanza, producono frequentemente delle illusioni in quello della grandezza reale. Queste illusioni sono frequenti nell'oscurità. È il caso della fantasmagoria.

Qual è l'ufficio dei due occhi nella visione? Sinchè l'oggetto è molto lontano, gli assi ottici essendo sensibilmente paralleli, le immagini che si formano nei due occhi sono identiche e la visione si fa come un occhio solo. La semplicità di un oggetto visto coi due occhi è, in questo caso, l'effetto di un giudizio, che per abitudine eseguiamo con una rapidità inconcepibile. Il nostr'occhio non vede due oggetti, benchè due sieno le immagini, perchè l'esperienza ci ha insegnato, che l'oggetto è unico in tutti quei casi in cui due immagini identiche son formate sopra due parti della retina che si corrispondono necessariamente, affinchè la visione sia distinta. Lo stesso avviene per l'organo del tatto. Toccando colle dita di una mano una palla, non si sentono cinque palle, ma una palla. Se, mentre osservando un oggetto coi due occhi, comprimete uno di questi a modo che i punti della sua retina e quindi l'immagine si spostino, se in questo modo deviate l'asse di uno degli occhi, l'oggetto vi comparisce all'istante doppio. È questa la cagione dello *strabismo*. Accade lo stesso per il tatto. Se incrociate il dito indice ed il medio, e toccate una pallina coi polpastrelli delle due dita incrociate, vi sembrerà di toccare due palline.

Wollaston ha ammesso che una cagione anatomica contribuisca all'unità della visione. Egli crede che i due nervi ottici nel punto in cui si congiungono venendo dal cervello per poi separarsi o dirigersi ai due occhi, si dividano in modo, che la metà di ognuno dei due nervi vada a formare la metà delle due retine; per queste *semi-decussazioni* dei nervi ottici la parte dritta delle due retine sarebbe formata dalle ramificazioni di uno stesso nervo, e la parte sinistra da quelle dell'altro nervo. Quindi tutte le immagini fuori dell'asse ottico vengono scorte da un solo nervo pei due occhi, per cui i due nervi scossi danno la sensazione unica e intera dell'oggetto.

Questa disposizione anatomica dei nervi spiegherebbe il fenomeno che Wollaston ed Arago hanno osservato sopra loro stessi dopo una lunga applicazione, di non vedere, cioè, che una metà degli oggetti. È forza però confessare, che oltre non esservi osservazione anatomica che confermi l'opinione di Wollaston, v'è anche contro di questa il fatto della sensazione unica del suono dai due orecchi per mezzo di due nervi ottici, che vanno di certo separatamente al cervello. Le immagini simili fatte sulla retina dei due occhi da un oggetto lontano fanno sì che non v'è differenza fra la percezione dell'oggetto solido in scultura o in rilievo e il disegno in prospettiva tracciato sopra un piano. Un quadro di oggetti che siamo soliti a vedere in distanza, convenientemente illuminato dalle sue varie parti, può offrirci con un'illusione perfetta l'immagine dell'originale: se ne ha un esempio nel *diorama*. Non è più così quando l'oggetto è osservato a poca distanza dall'occhio. Dobbiamo a Wheatstone delle osservazioni molto ingegnose sopra questo soggetto. Allorquando un corpo solido, uno cubo p. es., si trova ad una piccolissima distanza degli occhi, la projezione di questo cubo sulla retina di ognuno degli occhi vi forma due immagini diverse l'una dall'altra, e tanto diverse, che, supposto di averle disegnate, si potrebbe appena riconoscere che son prodotte dallo stesso oggetto. Ad onta di questa differenza, noi veggiamo l'oggetto semplice: convien dunque conchiudere, che la percezione in rilievo può esser prodotta dalla simultanea percezione delle due immagini che si formano in ambedue gli occhi; in una parola diventa un'illusione vedere gli oggetti come sono. Malgrado questi fatti, deve però ammettersi che anche un occhio solo giudica della solidità dei corpi, come si vede ogni giorno da chi ne ha uno solo. L'esperienza, l'abitudine e gli altri sensi rimediano al difetto. Wheatstone ha provato ad osservare nello stesso tempo i due disegni rappresentanti le immagini del corpo solido, ottenute da ognuno dei due

occhi, ed ha provata la sensazione del corpo solido. Quando l'osservazione è fatta in modo che le immagini dei due disegni si formano nella stessa maniera e negli stessi punti della retina in cui si formano le due proiezioni del solido, l'illusione è compiuta, ed è impossibile di credere che si hanno dinanzi agli occhi delle pitture fatte sopra un piano. Egli chiama *stereoscopio* l'istrumento con cui si ha questa illusione, il quale consiste in due specchi inclinati, su cui si formano per riflessione le immagini delle due pitture rappresentanti le proiezioni di un corpo solido nei due occhi: le due immagini sono osservate applicando gli occhi a due aperture che guardano le immagini formate sui due specchi.

Fra i più curiosi fenomeni della visione v'è quello della persistenza delle impressioni sulla retina: provate ad osservare un carbone acceso che si fa rotare, e se la rotazione è abbastanza rapida vi sembrerà di vedere un circolo luminoso. Questa apparenza non può certamente intendersi senza ammettere che l'impressione del carbone acceso sulla retina duri un certo tempo, il quale può essere misurato dal tempo che impiega il carbone rotante a ritornare in una data posizione: in questo modo si vede nello stesso tempo in tutti i punti che percorre successivamente. Il volume maggiore che prende una corda in vibrazione, la scomparsa delle razze di una rota che gira con molta rapidità, la ruota di luce delle stelle cadenti, il colore bianco che mostra un disco rotante dipinto coi sette colori dello spettro, sono tutti fenomeni dovuti ad una stessa ragione, cioè alla persistenza delle impressioni sulla retina. Se la luce è istantanea, tutti questi fenomeni cessano. Osservate un oggetto molto illuminato per un certo tempo: chiudete gli occhi, e tutta la scorgerete ancora l'oggetto. Per determinare la durata di questa persistenza, Aimè ha immaginato di far rotare in senso inverso due dischi portati sullo stesso asse e forniti l'uno d'un gran numero di aperture eguali ed egualmente distribuite, e l'altro di una sola apertura. Facendo cadere un raggio di luce sopra quest'apparecchio messo in moto in una stanza oscura, l'occhio che guarda lungo l'asse comune dei due dischi, scorge ora un solo settore illuminato, di cui la posizione è varia e dipendente dalla coincidenza dell'unica apertura del secondo disco con ognuna di quelle del primo, ora due settori, ora tre, ora più, e infine un disco di luce. Queste diverse impressioni dipendono dalla velocità di rotazione. È uno solo il settore, se la velocità è così lenta da far nascere la seconda coincidenza quando l'impressione sulla retina della prima è cessata; son due i settori se persiste l'impressione quando la seguente coincidenza ha luogo, e così in seguito. Con quest'apparecchio adunque è facile di giungere a stabilire il valore della durata delle sensazioni sulla retina. Degli apparecchi molto ingegnosi, che sono anche un giuoco da ragazzi, sono stati costruiti sopra un principio che non differisce da quello dell'apparecchio di Aimè che v'ho descritto. Si dipingono in giro sopra un circolo tante figurine identiche nel vestiario ed in tutte le loro forme, meno che ne' movimenti; queste figurine sono di seguito disposte, in modo da rappresentare le posizioni progressive di un dato esercizio, quale sarebbe muovere una sega, scorrere coll'arco sopra un violoncello, ballare ec. Questo circolo è visto attraverso alle fissure di un altro. Mettendo i due circoli a rotare sopra lo stesso asse, l'occhio riceve l'impressione di ognuna di queste posizioni per il passaggio di ogni apertura, e conserva quest' impressione sino all'impressione della posizione che segue. Da questa *persistenza* risulta l'effetto simile a quello dell'oggetto rappresentato, veduto in movimento.

Plateau, il quale ha molto studiato sopra questo soggetto, ha trovato che per produrre un'impressione compiuta è necessario che la luce abbia agito per un certo tempo, che ciò supposto, la durata totale dell'impressione è la stessa per tutti i colori, ed approssimativamente di 0",34, che il tempo in cui l'impressione conserva la stessa intensità è tanto più grande quanto più è stata meno intensa la luce, e che è diverso pei raggi di diverso colore, essendo più lungo per il bleu che per il rosso e per la luce bianca; che infine la durata totale delle impressioni è tanto più lunga, quanto più è intensa la luce e meno prolungata. La palla di un cannone non si lascia vedere, e non forma la striscia luminosa di una stella cadente per la poca intensità della sua luce.

Questi fatti ci spiegano il metodo tanto ingegnoso con cui abbiamo visto essersi misurata la velocità della luce elettrica.

Oltre la persistenza delle impressioni sulla retina, succedono in noi dei fenomeni anche più curiosi dopo aver fissato per un certo tempo un oggetto. Supponete di osservare un disco di un certo colore, che è al centro di un cartone nero: dopo un dato tempo di osservazione costante, portate rapidamente gli occhi sopra un fondo bianco, oppure chiudete gli occhi coprendoli con una tela. Allora vi sembrerà di vedere un disco simile di figura al primo, e del colore *complementario* a quello del disco. Così se il disco è rosso, vedrete l'immagine verde; se è

giallo, vi comparirà violetto; se bianco, vi sembrerà grigio. Queste apparenze sono conosciute col nome di colori *accidentali*. Plateau è riescito a mostrare che queste immagini accidentali cessano con una successione singolare: dopo un certo tempo si dileguano per lasciare il posto ad una immagine che ha il colore dell'oggetto; questa seconda si estingue, e ritorna l'immagine col colore complementario. S'indeboliscono queste immagini e cessano affatto, con una serie di queste alternative.

I colori accidentali si combinano fra loro come i reali: eccovi l'osservazione curiosa che vi prova questa verità. Fissate sopra un fondo nero due piccoli quadri di carta, l'uno colorato p. es. in violetto, e l'altro in aranciato e di cui i centri sono punti neri. Fissate gli occhi alternativamente sopra questi punti, passando dall'uno all'altro dopo ogni secondo: chiudete gli occhi, e vi sembrerà di vedere tre quadri, uno giallo che è complementario del violetto, l'altro bleu complementario dell'aranciato, e un terzo in mezzo di color verde, che è appunto il colore formato dal giallo e dal bleu. Le impressioni primitive prodotte sulla retina in questa esperienza non sono che la sovrapposizione delle due impressioni parziali che avrebbero luogo, se uno solo dei due punti neri fosse osservato; e siccome gli assi ottici non hanno la stessa direzione nell'atto in cui si guardano successivamente, non sono gli stessi punti della retina che ricevono le due impressioni parziali: risulta dalla giusta posizione dei due quadrati, che l'immagine accidentale dell'aranciato per la prima impressione parziale si sovrappone all'immagine accidentale del violetto per la seconda. Il quadrato intermedio che si scorge ad occhi chiusi è dovuto a questa sopraapposizione, per cui si deve conchiudere che il giallo e il bleu accidentali fanno il verde come il bleu e il giallo reali. Qualunque fosse stato il colore dei due quadrati, si giungerebbe alla stessa conclusione. V'è però una differenza, la quale si osserva quando i due quadrati sono tinti con colori complementari; in questo caso il quadrato intermedio formato dalla soprapposizione delle immagini accidentali è nero e non bianco, come nel miscuglio di due colori reali.

I colori accidentali si combinano coi reali come questi fra loro. Basta di osservare una immagine accidentale colorata, non sopra un cartone bianco, ma sopra un cartone colorato. L'immagine non ha più il colore complementario, ma ha quello che risulta dal miscuglio di questo colore con quello del cartone su cui si osserva.

Voglio finalmente darvi un cenno dei colori accidentali che si formano intorno agli oggetti nell'atto stesso che si guardano. Se per un certo tempo si fissano gli occhi sopra un oggetto colorato che sia posto in mezzo ad un cartone bianco, si vede comparire intorno all'oggetto un'aureola tinta del colore complementario. Osservate una striscia di carta bianca incollata sopra un foglio colorato, mettendola d'innanzi ad una finestra: dopo un certo tempo la striscia vi sembra colorata della tinta complementaria a quella del foglio. Tutti i corpi bianchi molto illuminati sembrano più estesi degli oggetti neri che hanno in realtà le stesse dimensioni. Questa osservazione riesce assai bene sopra due dischi eguali, uno nero che è posto sopra un fondo bianco, e l'altro bianco collocato sopra un fondo nero: quest'ultimo comparisce più grande dell'altro. Questi fatti provano evidentemente che ogni impressione prodotta sulla retina è accompagnata da un'aureola accidentale, e che quindi il movimento s'estende al di là dell'immagine formata sulla retina stessa.

Sono importanti le applicazioni di questi principi che si possono fare nelle arti in cui s'adoperano oggetti colorati. Chevreul lo ha mostrato in un lunghissimo lavoro fatto a questo fine. Se i colori, che son vicini e s'influenzano reciprocamente, sono complementari l'uno dell'altro, essi non fanno che acquistare un maggiore splendore per la loro influenza reciproca. Il bianco e il nero divengono l'uno più vivo, l'altro più nero. Invece tutti i colori che sono prossimi nella serie dei sette colori, posti in vicinanza, s'indeboliscono, si guastano reciprocamente. I quadri, i tappeti, le carte dipinte, tutte le decorazioni, presentano spesso degli effetti falsi e in qualche modo discordanti, perchè nella loro composizione si sono dimentiche le influenze reciproche dei colori vicini.

Non voglio che ignoriate affatto l'ingegnosa teoria colla quale Plateau ha voluto spiegare tutti i fenomeni di cui vi ho parlato in queste ultime parti della lezione, e la scoperta di molti dei quali è stata fatta, sono molti anni, dal Petrini. Secondo Plateau, una volta che la retina è stata impressionata e scossa dalla luce emersa da un oggetto, e che la causa dell'eccitazione è cessata, la retina ritorna alla sua posizione normale con una serie di oscillazioni decrescenti. Gli stati pei quali passa successivamente in queste oscillazioni producono sensazioni opposte. V'è opposizione fra il nero e il bianco, e in generale fra gli effetti prodotti da due colori complementari. In fatti due colori accidentali complementari producono del nero o cioè un effetto nullo nel sovrapporsi. Nel tempo che l'eccitazione della retina persiste

anche i punti della retina, vicini a quelli su cui l'immagine si proietta, entrano in un movimento, il quale essendo simile a quello di una membrana tesa, deve essere in direzione opposta al primo, come sono opposte le velocità delle vibrazioni di due *concamerazioni* vicine di un corpo sonoro. V'è dunque un'aureola vicina che produce l'effetto di un colore complementario o di uno stato opposto.

In una parola, una porzione di retina essendo stata distolta dal suo stato normale, ritorna, cessata la cagione, in riposo, facendo una serie di oscillazioni che variano di senso e d'intensità col tempo; il movimento in cui è messa si propaga nelle parti vicine, vi si diffonde, facendo una serie di oscillazioni che variano anch'esse d'intensità e di senso, secondo la loro distanza al luogo dell'impressione diretta.

LEZIONI XCII e XCIII.

Fenomeni degli anelli colorati di Newton. — Colori delle lamine sottili. — Fenomeni dei reseaux. — Diffrazione. — Interferenza — Sistema delle ondulazioni. — Spiegazione dei fenomeni della luce in questo sistema.

Onde compiere l'esposizione dei principali fenomeni della luce, ci rimangono a studiare alcune circostanze molto curiose nelle quali la luce è deviata e decomposta, senza obbligarla ad attraversare dei mezzi di diversa densità e natura. Lo studio di queste circostanze ci condurrà all'esposizione della teoria la più importante e la più generale che possegga oggi la Fisica.

Allorchè la luce traversa delle lamine molto sottili tratte dai corpi diafani, appariscono sempre i colori i più vivi. Non v'è nessuno fra voi che non conosca i bei colori che presentano le bolle di sapone, e non si sia accorto che a misura che lo strato d'acqua componente queste bolle si fa ottiglia i colori variano, ed è quando la bolla sta per rompersi che appare una macchia nera. Eccovi delle laminette estremamente sottili di vetro, che si fanno fondendo un tubo di vetro e soffiando una palla a guisa di fare un termometro. Se, fatta una prima palla non molto grossa, si rammollisce di nuovo al calore e poi si soffia ancora, le pareti della palla s'assottigliano, si rompono, ed è allora che compariscono le laminette di vetro coi più vivi colori. Quei colori che mostra l'acciaio pulito allorquando è riscaldato, son pure dovuti a delle lamine sottili di ossido formato. Ricordatevi dei colori che compariscono sulle lamine di platino o d'acciaio, su cui si fanno deporre, per mezzo della corrente elettrica, alcuni dei componenti di certe soluzioni saline. Una goccia d'olio gettata sopra l'acqua, vi si spande in una lamina sottilissima, ed all'istante comparisce dipinta di diversi colori. Anche i gas ed i vapori ridotti in lamine sottilissime, appariscono colorati. In tutti questi casi è facile di scorgere che il fenomeno della colorazione non ha più luogo se la lamina non è sottile. Eccovi della selenite e della mica, da cui mi è facile di distaccare con un coltello delle lamine sottili: i colori si mostrano quando le lamine distaccate son molto sottili. L'apparecchio col quale Newton studiò questi fenomeni e ne scoprì le leggi è estremamente semplice. Immaginatevi una lente convesso-convessa di cui la curvatura sia molto grande, sulla quale si posi una lamina piana di vetro. Queste due lamine posson essere incassate in due cerchi d'ottone, che per mezzo di viti si stringono l'uno contro l'altro. Rimane necessariamente fra la superficie convessa della lente e quella della lamina piana uno strato d'aria che ha una diversa grossezza nei diversi punti. Facendo cadere sopra la lente un fascio di luce solare ed osservandola per riflessione, si veggono comparire degli anelli di diverso colore i quali hanno per centro il punto di contatto delle due lamine. Una volta che si sono ottenuti questi colori nell'aria, possono osservarsi con qualunque gas. Basta perciò di portare l'apparecchio in una campana, estrarne l'aria, ed empire la campana di un altro gas. Gli anelli si veggono sempre, e, ciò che è da notarsi, non mancano neppure nel caso in cui l'apparecchio è nel vuoto. Anche una *lamina sottile vuota* produce gli anelli colorati, quando è traversata da un raggio di luce bianca. Eccovi le leggi di questi anelli, che Newton ha scoperte colla massima esattezza.

Prima legge. Qualunque sia la natura della lamina sottile, i colori che mostra variano secondo la sua grossezza e l'obliquità con cui si guarda: cessano sempre quando la lamina diviene o troppo sottile o troppo grossa. Posando la lente sulla lamina piana, si vede da prima una macchia centrale bianca che diviene successivamente colorata, crescendo la pressione fra le due lamine; nello stesso tempo si scorgono altri colo-

ri intorno alla macchia centrale, ed è quando la pressione è molto forte che la macchia centrale è fatta nera, rimanendo sempre circondata da anelli dei colori i più vivi. Ecco come Newton descrive questi anelli: Oltre la macchia nera centrale formata al punto di contatto dei due vetri, vengono degli anelli di colore successivamente bleu, bianco, giallo e rosso. Dopo questa prima serie se ne distingue un'altra formata dai colori violetto, bleu, verde, giallo e rosso, e in questa i colori sono più vivi ed estesi di quello che sieno nella prima: comparisce dopo questi una terza e poi una quarta serie di colori, di cui la disposizione non è in sostanza diversa da quella delle prime due. I colori che poscia si veggono, sono sempre più deboli ed appena distinguibili. Lo stesso Newton esprime in questi termini la distribuzione dei colori partendo dal centro: nero, bleu, bianco, giallo, rosso; violetto, bleu, verde, giallo, rosso; porpora, bleu, verde, giallo, rosso; verde, rosso; bleu-verdastro, rosso; bleu-verdastro, rosso-pallido, bleu-verdastro, bianco-rossastro.

Sollevando leggermente il vetro piano dalla lente, si veggono i diversi colori rifugiarsi verso il centro, e alla fine sparire. La stessa osservazione si fa colle bolle di sapone, le quali assottigliandosi prima di rompersi, mostrano la serie dei colori or ora descritti, ed un istante prima che esse si rompano comparisce il color nero nella loro parte più alta, che è per conseguenza anche la più sottile. Guardando questi anelli con una diversa obliquità, si veggono tutti allargarsi.

Se invece di osservare questi colori per riflessione, si colloca l'occhio in modo da vederli per trasmissione, si osserva che una macchia bianca centrale corrisponde alla macchia nera, e che tutte le serie suddette esistono, ma in modo, che tutti i colori visti per trasmissione sono complementari di quelli visti per riflessione. V'è un'esperienza molto ingegnosa di Arago, che prova assai bene questo fatto. Egli prende due lenti convesso-convesse simili, e le dispone a contatto in guisa da produrre gli anelli. Le due lenti son poste orizzontalmente di faccia ad un muro bianco, da cui viene la luce a cadere sulle due lenti. È chiaro, che può l'occhio mettersi in una certa inclinazione da vedere gli anelli tanto riflessi, quanto trasmessi. In questo caso gli anelli spariscono, e ciò proviene dal sovrapporsi dei colori complementari. Togliendo con un diafragma ora i raggi che danno gli anelli riflessi, ora quelli che danno gli anelli trasmessi, si veggono comparire ora i primi, ora i secondi. È evidente che secondo che è più o meno intensa la luce la quale dà gli uni o gli altri di questi anelli, si riescirà a vederli, e si giudicherà della maggiore intensità dell'una o dell'altra luce dal vedersi degli anelli riflessi o dei trasmessi. Ecco dunque un mezzo per paragonare le intensità di due luci, che devono però essere necessariamente della stessa tinta. Qualunque sia la grossezza dei due vetri, la disposizione e l'ampiezza degli anelli colorati non varia; ciò prova che il fenomeno dipende dalla sola lamina sottile d'aria che vi è interposta, e dalla sua varia grossezza.

Seconda legge. Quando si fa cadere sui due vetri suddetti tenuti a contatto uno dei raggi colorati dello spettro, un color semplice, gli anelli che si formano non sono altro che anelli di questo colore o anelli oscuri. Così con un raggio rosso si veggono degli anelli alternativamente rossi ed oscuri, e v'è fra gli anelli visti per riflessione e quelli per trasmissione la differenza suddetta: se il primo riflesso è rosso, l'altro trasmesso che gli corrisponde per la posizione è oscuro. Se si guardano degli anelli lontani dal centro, si veggono sempre più stretti a misura che il loro diametro cresce. Si chiama anello colorato di *prim'ordine* quello che circonda la macchia nera del centro, e così gli altri si dicono di 2.°, 3.°, 4.° ec. ordine. Quando i due vetri non sono convenientemente premuti, può esser anello di prim'ordine quello che è in realtà di secondo o di terzo ec.

Adoperando i diversi raggi colorati dello spettro per produrre gli anelli senza variare la grossezza della lamina d'aria e l'obliquità con cui si osservano, si trova che hanno un diametro diverso, secondo i diversi raggi. Gli anelli dello stess'ordine hanno un diametro tanto più grande quanto è meno refrangibile il raggio colorato da cui sono prodotti, e quindi corrispondono a delle grossezze della lamina tanto più grandi. Risulta evidentemente da questa differenza nel diametro degli anelli dovuti ai raggi di diversa refrangibilità, che gli anelli colorati che produce la luce bianca sono l'effetto della parziale sovrapposizione degli anelli prodotti dai raggi semplici che la compongono.

Terza legge. Per una lamina sottile qualunque, le grossezze corrispondenti agli anelli colorati di diverso ordine seguono la serie dei numeri dispari 1, 3, 5, 7, mentre le grossezze corrispondenti agli anelli oscuri seguono la serie dei numeri pari 0, 2, 4, 6.

Sia (*Fig.* 81.) $h\,i\,h'$ la curvatura della lente convessa, e $g\,i\,g'$ la faccia inferiore del vetro piano posato sulla lente, e $a\,a'$, e c',

e c', i diametri degli anelli oscuri e colorati di ordine diverso: *a b*, *c d*, *e f* sono le grossezze corrispondenti della lamina d'aria. Conosciuti i diametri degli anelli, cosa assai facile a farsi col compasso, son pure conosciute le grossezze della lamina corrispondente: infatti, per una relazione geometrica assai semplice, si ha che queste grossezze sono fra loro come i quadrati dei diametri degli anelli corrispondenti.

Newton ha dato con un' esattezza mirabile la misura assoluta delle grossezze delle lamine d'aria che corrispondono agli anelli oscuri e colorati di diverso ordine: vedremo come questi stessi numeri sieno stati trovati da Fresnel in un caso ben diverso da quello di Newton. La grossezza della lamina d'aria che produce un anello qualunque è eguale al quadrato del raggio dell' anello stesso, diviso per il diametro della sfera a cui appartiene la lente convessa. Ecco il quadro delle grossezze delle lamine d' aria che producono l'anello colorato di prim'ordine per ognuno dei colori dello spettro solare.

Nomi dei colori.	*Grossezze delle lamine d'aria in millionesimi di millimetro.*	*Id. grossezza moltiplicata per 4.*
Rosso estremo	161,15	645
Aranciato rosso.	148,95	596
Giallo aranciato	142,60	571
Verde giallo.	133,01	532
Bleu verde	122,97	491
Indaco bleu.	114 64	458
Violetto indaco	109,80	439
Violetto estremo	101,51	406

I numeri della terza colonna son quelli che Fresnel ha trovati, e di cui vedremo il mirabile legame teorico con quelli di Newton.

Quarta legge. Confrontando gli anelli dello stesso ordine formati dalle lamine di diversa natura, si trova che le grossezze di queste lamine da cui son prodotti collo stesso raggio, son fra loro in ragione inversa dell'indice di refrazione delle sostanze delle lamine.

Per dimostrare questa legge, basta d'introdurre una goccia d'acqua fra i due vetri: la goccia per capillarità ci s'insinua a modo, da avere non più una lamina d'aria, ma una d'acqua. Si veggono immediatamente gli anelli ristringersi: coll'acqua gli anelli dello stess'ordine di quelli dell'aria, hanno un diametro più piccolo e quindi corrispondono a grossezze più sottili. Confrontando i diametri degli anelli dello stess'ordine formati coll'aria e coll'acqua, si trova che stanno fra loro in ragione inversa dei numeri 4 e 3, i quali rappresentano gl'indici di refrazione dell'acqua e dell'aria.

Non voglio lasciar fuggire questa occasione senza darvi un cenno dell'ipotesi con cui Newton spiegava gli anelli colorati. Una tale ipotesi, quantunque oggi abbandonata, è pur sempre celebre nella storia della Fisica.

Newton deduceva dal fenomeno degli anelli colorati, che vi erano per ogni sostanza delle grossezze $1\ g$, $3\ g$, $5\ g$ ec., per le quali la luce incidente di un certo colore si trovava in un *accesso di facile riflessione*, e delle grossezze $2\ g$, $4\ g$, $6\ g$ ec., per le quali questa stessa luce si trovava in un *accesso di facile trasmissione*. I numeri della seconda colonna sono le lunghezze o gli spazi percorsi dalla luce in ognuno di questi accessi, che si suppongono tutti eguali fra loro. Un raggio di luce è considerato in questa ipotesi come formato da tanti spazietti, alla fine di ognuno dei quali il raggio entra nell'accesso opposto a quello in cui è stato precedentemente. Viene da ciò che se la lamina ha una tale grossezza minore di quella di un accesso, il raggio oltrepasserà questa lamina senza esser riflesso, e quindi dovrà egualmente oltrepassarla per una grossezza doppia, quadrupla ec. Se invece la lamina ha una grossezza eguale a una, a tre, a cinque, a sette volte ec., la lunghezza dell'accesso si mostrerà colorata, giacchè nell'istante in cui il raggio tocca la seconda superficie si trova in un accesso di facile riflessione, ed è riflesso per conseguenza.

Newton spiegava con questa ipotesi i colori dei corpi, ammettendo fra loro le particelle supposte trasparenti e di certe grossezze, degl'intervalli ripieni di fluidi diversi, ed anche questi di una certa grandezza: con tali supposizioni il colore del corpo di-

pende dal poter respingere i raggi di un certo colore che sono in un accesso di facile riflessione, e dal rifrangere quelli a cui s'offre in un accesso di facile trasmissione.

Amo di ripetervelo: v' ho dato un cenno di questa ipotesi, perchè celebre per il nome del suo Autore; ritenete però, che non v'è ipotesi meno fondata di quella che, nell'applicarsi alla spiegazione dei fatti, è costretta a generarne tante altre.

Vi sono altri modi assai curiosi coi quali si ottengono degli anelli colorati della luce bianca, o degli anelli alternativamente oscuri e colorati, se si adopera una luce semplice.

Uno di questi consiste nell'introdurre un raggio di luce solare in una stanza oscura per una piccola apertura, e nel far cadere perpendicolarmente questo raggio sopra uno specchio concavo di vetro di cui le superficie esterne sieno concentriche, e coperto all'esterno da una lamina di stagno amalgamato. Tenendo un cartone forato presso l'apertura, in modo che il raggio incidente passi per il foro del cartone, si veggono degli anelli concentrici al foro che sono dei più vivi colori. Questi colori son disposti come negli anelli colorati visti per trasmissione. Onde rendere i colori di questi anelli anche più belli, giova spargere sopra lo specchio delle polveri leggiere, di farina e d'altro, oppure di darvi sopra una vernice sottile con latte o altro liquido analogo. L'apparizione degli anelli dipende dalle riflessioni che soffrono i raggi luminosi alla prima e alla seconda superficie dello specchio: infatti i diametri degli anelli dello stesso colore e dello stess'ordine, sono in ragione inversa dei quadrati delle grossezze degli specchi. Un'altra prova di una tale condizione si ha dal vedere, che mancano in questo caso gli anelli servendosi di uno specchio metallico.

Onde ottenere gli anelli con uno specchio metallico è necessario di tenere d'innanzi allo specchio e sulla strada del fascio dei raggi diretti che vengono dal foro, una lamina sottile di mica o di vetro, oppure un diafragma opaco che abbia un piccol foro, tale che i suoi orli incontrino tanto i raggi incidenti quanto i riflessi. O nell'un modo o nell'altro, si veggono gli anelli colorati sul cartone pel cui centro passa il fascio di luce.

Un modo analogo a questo, onde produrre gli anelli colorati o almeno dei fenomeni quasi identici, è quello di sovrapporre una lamina di vetro, di cui le facce sieno leggermente inclinate, ad una lastra lucente di metallo. Osservando per riflessione sopra quella lastra l'immagine di un foro fatto nel soffitto di una stanza per cui entra un raggio di luce, si vede questa tinta con vivissimi colori, in cui si distinguono principalmente il rosso e il verde.

Anche due lamine di vetro tenute leggermente inclinate l'una sull'altra, attraverso delle quali si guarda l'apertura della camera oscura, producono varie immagini. Una di queste è l'immagine diretta, ed è la più illuminata e senza colori: le altre sono più o meno deviate, ed appariscono solcate da strisce che hanno i colori degli anelli.

La *Fig.* 65 mostra l'apparecchio con cui può osservarsi questo fenomeno, e per mezzo del quale può farsi variare l'inclinazione delle due lamine di vetro.

Vedremo più innanzi come tutti questi fenomeni della luce sieno mirabilmente spiegati nella teoria delle ondulazioni: ma prima di giungere a questo punto, credo utile di parlarvi ancora di altri effetti della luce, dai quali è colla più grande evidenza stabilito il fatto celebre *delle interferenze*. Non insisterò mai quanto basti per farvi penetrare di tutta l'importanza di questo fatto: è il fondamento sperimentale della suddetta teoria, ed è quindi la base della spiegazione dei fenomeni luminosi che adottiamo.

Dobbiamo a Frahnenhofer la scoperta dell'azione che hanno i *réseaux* a deviare e decomporre la luce. Essi consistono in una serie d'intervalli eguali, i quali sono o alternativamente opachi e trasparenti, o capaci di riflessione o non capaci, secondo che le osservazioni si fanno per trasmissione o per riflessione. Si ottengono i *réseaux* pel primo oggetto facendo col diamante sopra il vetro di solchi paralleli finissimi; se ne conoscono in cui vi sono 400 solchi nei piccolo spazio di un millimetro. Possono anche farsi di questi *réseaux* con dei fili metallici molto sottili o con capelli tesi prossimissimi fra due aste parallele. I *réseaux* per riflessione si fanno tracciando dei solchi paralleli sopra una lastra metallica. Facendo passare un fascio di luce solare attraverso ai primi *réseaux*, si vede, raccogliendolo sopra un cartone, formarsi ai lati di questo fascio degli spettri, in cui il raggio violetto è interno e il rosso al di fuori. I colori dei diversi spettri sono disposti in tutti egualmente, ed occupano degli spazi sempre crescenti a misura che gli spettri di cui fanno parte sono più lontani dal mezzo dei *réseaux* che è illuminato direttamente dal fascio solare. Frahnenhofer ha trovato che la deviazione dei diversi raggi dipendeva unicamente dalla somma delle due larghezze dell'intervallo opaco e del trasparente. I *réseaux* metallici visti sotto una certa inclinazione, mostrano i più vivi colori del-

lo spettro. I colori della madreperla e delle penne di certi uccelli, sono dovuti a del *réseaux;* prendendo lo stampo della superficie della madreperla col mastice o con una lega fusibile, si ottengono sulla superficie dello stampo gli stessi colori. Si fanno oggi degli ornamenti d'oro in cui la superficie è a *réseaux*, e danno per riflessione dei colori bellissimi.

Guardando la fiamma di una candela attraverso ad un gruppo di capelli o di peli finissimi, vi si veggono intorno degli anelli colorati i quali imitano le corone che qualche volta si osservano intorno al sole e alla luna. Lo stesso avviene spargendo di polveri finissime una lastra di vetro inumidita col respirarvi sopra: la fiamma di una candela osservata attraverso a questa lastra è circondata da grandi anelli colorati.

Il Dott. Young che ha osservato pel primo questi fenomeni, ne approfittò onde costruire un istrumento, da lui chiamato *eriometro*, destinato a misurare il diametro dei piccoli globetti del sangue, della farina, del latte ec. Consiste l'eriometro in un tubo di metallo chiuso ad un estremità da un disco che ha un piccolo foro: all'altra, che si tiene vicino all'occhio, si collocano sopra una lastra di vetro, o fra due lastre, gli oggetti di cui si vuol conoscere il diametro. Guardando attraverso ad una fiamma di una luce molto intensa, si veggono gli anelli, e fissandone uno di un certo ordine e colore, si allontana più o meno la lastra di vetro, sinchè l'anello ha un determinato diametro. Il Dottor Young ammette che i diametri dei piccoli corpi sono in ragione inversa delle varie distanze fra il foro e la lastra di vetro che producono l'anello dello stesso diametro. Quando si conosca il diametro di uno di questi piccoli corpi, l'eriometro dà quello degli altri con cui è paragonato.

Herschel e Arago hanno osservato, che guardando una stella con un cannocchiale che aumenti oltre 200 volte l'oggetto, si vede la stella perfettamente rotonda e circondata da vari anelli alternativamente oscuri e luminosi, di cui gli ultimi sono leggermente colorati. Arago ha osservato, nel fare quest'osservazione, che avvicinando l'oculare all'obbiettivo si vede il centro del disco luminoso alternativamente oscuro e molto illuminato, e nel primo caso compare scintillante senza movere il cannocchiale.

Di tutti i fenomeni ottici che ho riuniti in questa lezione e di cui il legame vi sarà evidente alla fine, il più importante è quello che si mostra nel passaggio della luce lungo gli orli dei corpi opachi. È di questo che più lungamente vi parlerò. Allorchè un raggio luminoso, che si fa entrare da un foro in una stanza oscura, rasenta gli orli di un corpo, si vede, ricevendolo sopra un cartone o sopra un vetro spulito, che esso è deviato dalla sua direzione, e che l'ombra non è già l'ombra geometrica come l'abbiamo definita. Nè vi è solamente in questo fenomeno la deviazione del raggio: compariscono anche sul cartone delle striscie che presentano i colori dello spettro. Grimaldi scoprì il primo il fatto della modificazione prodotta nella luce dal suo passaggio pel piccoli fori o nel rasentare dei corpi: Newton, il Dott. Young, e finalmente e sopra tutti Fresnel, compierono la teoria di questa parte più importante dell'Ottica, che è chiamata della *diffrazione* della luce. I fenomeni della diffrazione i più semplici ad ottenersi sono quelli che si veggono guardando una fiamma qualunque attraverso ad una fessura molto stretta e lunga, fatta in un foglio di carta nera: questi fenomeni sono anche più distinti se la fiamma si guarda attraverso a due fessure simili parallele, e alquanto separate l'una dall'altra. Tanto in un modo che nell'altro, si vede la fiamma circondata da larghe frange che hanno i colori dell'iride. Queste frange colorate si veggono ancora tenendo verticalmente un filo opaco molto sottile, un capello, molto vicino all'occhio, e guardando una fiamma posta di faccia.

Onde produrre ed osservare distintamente le frange che si producono nella diffrazione, giova assai che il punto luminoso, da cui partono i raggi, sia ridotto alle dimensioni più piccole possibili. A questo fine si fa cadere il fascio di luce, prima che entri nella stanza oscura, sopra una lente sferica o cilindrica a foco cortissimo; il fascio di luce viene in tal modo raccolto in un punto o in una serie di punti, da cui i raggi luminosi divergono, avendo così l'origine nel foco delle lenti suddette. È contro questo fascio di luce emanato dal foco delle lenti che si applicano i corpi stretti, i diaframmi, da cui la diffrazione deve esser prodotta. Questi orifizi sono talora formati da due lamine metalliche tagliate a bietta, una delle quali è fissa, e l'altra mobile con due viti, per mezzo delle quali si fa variare e si misura la larghezza dell'orifizio o della fessura. Newton riceveva le frange, che nei diversi casi di diffrazione si producono, sopra un cartone. Fresnel immaginò di sostituire a questo cartone un diaframma di vetro spulito, sul quale le frange si formano e rimangono visibili col mezzo di una lente o microscopio semplice. Possono le frange osservarsi con una lente anche senza che siano ricevute sopra un diaframma, come se fossero dipinte nell'aria, ed è in questo modo

che appariscono ingrandite o più distinte; esse divergono come un'immagine formata nell'aria ed osservata coll'oculare di un telescopio. Un micrometro formato da due fili di seta messi in croce e tesi al centro di un foro circolare e mobile per mezzo di una vite micrometrica, ha servito a Fresnel per misurare esattamente la larghezza delle frange.

Si costruiscono oggi degli apparecchi in cui sono riuniti tutti i pezzi necessari per tutte le esperienze della diffrazione. Questi apparecchi consistono in una specie di tubo da cannocchiale portato sopra un piede. Ad una estremità del tubo v'è una lente a foco cortissimo: il tubo s'apre in mezzo per ricevere i diversi pezzi che danno le frange. Questi pezzi sono dei piccoli fori fatti in un diafragma, un capello o un filo metallico tirato in mezzo ad un foro circolare, degli apparecchi portanti una o due fessure riunite, parallele e variabili per mezzo di viti. Ecco i fenomeni principali della diffrazione della luce.

Se si fa entrare nella stanza oscura un fascio di luce omogenea, cioè un raggio di uno dei sette colori dello spettro, a modo che incontri l'orlo rettilineo di un corpo opaco qualunque, si trova che l'ombra di questo corpo ricevuta sopra un diafragma ad una certa distanza, è composta al di fuori da una serie di strisce o frange che sono alternamente oscure e colorate. L'ampiezza di queste frange è minore, a misura che sono più lontane dall'orlo dell'ombra geometrica. Portando il diafragma su cui le frange si ricevono a delle distanze diverse dal corpo opaco, si trova che le loro distanze dall'ombra variano in modo da provare che la loro propagazione si fa secondo delle linee iperboliche tangenti nel loro vertice agli orli del corpo opaco. L'intensità della luce delle frange colorate diminuisce colle loro distanza dall'ombra, e termina coll'essere insensibile: il numero delle frange visibili è tanto più grande, quanto più è omogenea la luce con cui si formano. V'è ancora un'altra circostanza che m'interessa assai di farvi notare; ed è che la posizione, la larghezza, l'intensità della luce, il numero delle frange che si formano esternamente all'ombra di un corpo opaco, son totalmente indipendenti dalla densità, dalla forma, dallo stato della materia che compone gli orli del corpo opaco che diffrange la luce. Questa indipendenza del fenomeno della diffrazione dallo stato del corpo da cui è prodotto, è assai importante a notarsi. Variando il colore del raggio luminoso che si fa rasentare gli orli del corpo opaco, si trova che le frange non variano nella loro propagazione, nè nel numero: esse non sono che diversamente ampie. Le frange formate colla luce rossa sono più ampie di quelle che si producono colla luce violetta. Questa differenza ci spiega perchè nelle frange prodotte dalla luce bianca si veggono delle tinte di vario colore, le quali sono evidentemente prodotte dalla parziale sovrapposizione delle frange diversamente larghe dei sette colori della luce bianca.

Il fenomeno della diffrazione può anche osservarsi presentando al fascio di luce che diverge dal foco di una lente, un diafragma opaco che abbia un piccolo foro o una fessura assai stretta in un senso. Se si riceve il fascio che ha traversato il foro sopra un vetro spulito, invece della proiezione illuminata dell'apertura si veggono delle frange tanto nello spazio interno, che dovrebbe esser illuminato uniformemente, quanto all'esterno, o al di là dell'ombra geometrica. Le frange in tal modo prodotte presentano le stesse proprietà di quelle or ora descritte: anche per queste l'intensità della luce è tanto più grande, quanto più è omogenea la luce con cui son formate: la loro ampiezza varia col colore del raggio, essendo maggiore per quelle prodotte dalla luce rossa di quelle che hanno le frange formate dal raggio violetto. Quanto più l'orifizio è stretto, per una stessa luce, tanto più son larghe le frange che si producono: queste frange raccolte sul diafragma di vetro spulito collocato a distanze diverse dall'orifizio, mostrano di propagarsi in linee che passano tutte pel centro dell'orifizio, o della fessura; ma si producono egualmente da un foro circolare di piccolissimo diametro. Forate con un ago una lamina di piombo, e fate che pel foro passi un raggio di luce. Ricevendo sopra un cartone il fascio di luce che ha traversato il foro, si trova che il centro della proiezione del foro è alternativamente oscuro e colorato, facendo crescere successivamente le distanze del foro dal cartone: in ogni posizione si veggono delle frange circolari alternativamente oscure, e colorate tanto nella parte illuminata dell'immagine quanto nell'ombra. Presentando al fascio di luce che entra nella stanza oscura un filo metallico sottile o un capello, tesi verticalmente con un peso, si veggano le frange precedentemente descritte formarsi nell'interno e all'esterno dell'ombra geometrica del filo. La propagazione di queste frange e la loro ampiezza sono soggette a quelle stesse leggi che abbiamo esposto per gli altri casi di diffrazione. Ricevendo l'ombra di un piccolo disco opaco o sopra il cartone o sopra il vetro spulito, si veggono delle frange circolari alternativamente oscure e luminose circondare

l'ombra esterna del dischetto, e nello stesso tempo si scorgono delle frange eguali nell'interno. Il centro dell'ombra è un punto illuminato, la cui estensione varia in ragione inversa del diametro del dischetto. La sua intensità è la stessa che avrebbe questo punto, se il disco fosse diafano o piuttosto non esistesse. Arago ha osservato questo fenomeno incollando un piccol disco metallico sopra una lamina di vetro. Evvi in fine un altro modo di produrre i fenomeni della diffrazione, su cui insisterò maggiormente. Se invece di una fessura sola, se ne fanno due parallele, e al solito molto strette, in un diaframma opaco, si veggono sopra il cartone posto ad una certa distanza dal diaframma delle frange tanto nell'interno, quanto all'esterno delle immagini delle due fessure. In questo caso sono assai brillanti le frange che si formano nell'interno, ed in quei punti che senza diffrazione dovrebbero essere o interamente oscuri o interamente illuminati, secondo che si considerano molto presso al diafragma o a quella distanza a cui i due fasci luminosi divergenti dalle due fessure si sono incontrati. Ogni fessura forma un sistema di frange a parte, come già s'è visto, le quali però sono assai più deboli per l'intensità delle frange di cui si è parlato, e che necessariamente devono attribuirsi all'influenza reciproca dei fasci che emanano dalle due fessure. Basta di allontanare le due fessure, perchè le frange centrali di cui parliamo sieno grandemente indebolite, diminuiscano d'ampiezza e scompaiano affatto quando sono ad una certa distanza. L'influenza reciproca dei due fasci luminosi che passano per le due aperture nella produzione delle frange centrali o interne, è stata in origine scoperta dal Grimaldi e poscia dal Dott. Young: essa forma uno dei fatti più sorprendenti della Fisica. Mentre si osservano le frange centrali che si formano colle due fessure molto prossime, basta di chiuderne una per vederle sparire: è dunque fuori di dubbio che dal concorso dei due fasci, dall'influenza reciproca dei due raggi che ne emanano e che vengono a tagliarsi, risultano le frange centrali alternativamente luminose ed oscure. Considerando una delle frange oscure centrali, si vede che al sopprimersi di uno dei fasci essa diviene meno oscura: *quindi un punto su cui cadono due raggi luminosi, può rimanerne meno illuminato di quello che sarebbe se uno solo di questi due raggi vi cadesse sopra.*

È questo il gran fatto che scoprì il nostro Grimaldi, e che egli aveva ben ragione di annunziare, dicendo « che vi sono delle circostanze, in cui luce aggiunta a luce cagiona oscurità ».

Anche nel caso in cui la diffrazione è prodotta da un corpo opaco molto sottile, come sarebbe un filo metallico o un capello, l'influenza dei due raggi di luce che ne rasentano gli orli nella produzione delle frange centrali è provata dalla stessa esperienza di Young che v'ho mostrata: applicate un corpo opaco ad uno dei due orli del filo o del capello, e le frange spariranno non rimanendo più che quelle che l'orlo di un corpo sottile produce, e che sono tanto più deboli delle centrali.

L'influenza dell'incontro dei raggi luminosi in questi fenomeni della diffrazione è pur provata da un'altra classica esperienza di Arago. Si chiuda una delle fessure del diafragma con lamina trasparente alquanto grossa; le frange centrali spariscono come se la lamina fosse opaca: le frange persistono se la stessa lamina trasparente chiude contemporaneamente le due fessure. Quando invece si chiude una delle fessure con una lamina trasparente molto sottile, come sarebbe una lamina di mica, le frange centrali sussistono ancora e *non sono che spostate*: il centro del sistema delle frange si porta dalla parte della fessura che è chiusa dalla lamina sottile, e questo spostamento cresce colla grossezza della lamina stessa.

V'è pure un altro modo onde ottenere le frange coll'influenza di due raggi luminosi, i quali si fanno incontrare insieme essendo leggermente inclinati. Un prisma di vetro, di cui l'angolo differisce di poco di 180°, traversato da una fessura stretta bislunga, genera una tal deviazione nella luce, che i due fasci n'escono leggermente inclinati o deviati verso l'angolo, e vanno perciò ad incontrarsi. Si veggono assai bene le frange prodotte per mezzo di questo prisma, fissandolo nell'apparecchio della diffrazione che vi ho descritto, in cui le frange sono osservate con una lente e misurate da un micrometro. Introducendo nell'apparecchio dei raggi di diverso colore, purchè semplici, non si veggono più che delle frange alternativamente oscure o del colore del raggio introdotto: sono, al solito, le frange rosse le più larghe, e le violette le meno larghe.

Per compiere il soggetto della diffrazione mi rimane a parlarvi della celebre esperienza con cui Fresnel ha dimostrato l'influenza reciproca di due raggi luminosi, e ne ha colla massima precisione stabilite le circostanze. Malgrado l'evidenza delle esperienze di Young e di Arago a provare quest'influenza, rimaneva in alcuni il dubbio, che le frange che abbiamo chiamate centrali fosse-

re sempre fenomeni di diffrazione, dovuti cioè alla supposta azione degli orli dei corpi che la luce rasenta.

Fresnel ha tolto ogni dubbio, ed ecco come: due specchi metallici (*Fig.* 31) sono disposti l'uno presso all'altro facendo fra loro un angolo molto ottuso. Vi è in *a* una lente cilindrica di foco molto corto che concentra in *f* un fascio di luce molto omogenea o semplice. Questo fascio che diverge dal foco *f* incontra i due specchi, e cade in parte sopra uno, in parte sopra l'altro. I raggi riflessi s'incontrano nello spazio nei punti *b*, *s*, *b'*, s' ec., ed in questi punti si veggono con una lente delle frange alternatamente oscure e luminose. L'azione degli orli degli specchi è di certo tolta in quest'esperienza, e non può più cader dubbio che l'influenza reciproca dei raggi, che s'incontrano sotto una certa inclinazione, è la cagione unica delle frange luminose che si producono. I caratteri di queste frange sono, 1.° di esser parallele alla intersezione comune dei due specchi; 2.° di esser simmetriche rispetto al piano *l c b* che passa per l'intersezione comune dei due specchi e pel mezzo della linea *p p'* che congiunge le immagini del punto *f* formato sopra ciascuno dei due specchi; la frangia centrale che si trova sopra questo piano è sempre una frangia luminosa; 3.° gli assi di queste frange si trovano sopra delle iperbole di cui i fochi sono in *p* e *p'*, e il centro comune in *l*; 4.° se si copre uno degli specchi con un diaframma opaco, tutte le frange spariscono; 5.° se al fascio riflesso da uno degli specchi si presenta una lamina trasparente molto sottile, tutte le frange sono spostate: l'effetto della lamina s'ottiene presentando la lamina trasparente prima o dopo la sua riflessione; la frangia centrale e insieme tutte le altre si avvicinano verso quel raggio che ha traversata la lamina; 6.° le frange sono di diversa larghezza secondo la natura del raggio: le più larghe son quelle che si ottengono colla luce rossa, e le meno larghe quelle della luce violetta. Colla luce bianca le frange presentano i colori i più vivi specialmente al centro, e questo avviene necessariamente per la varia ampiezza che hanno le frange prodotte dai vari raggi di luce semplice.

Questa esperienza di Fresnel conferma in un modo luminoso quel fatto che Grimaldi scopriva, sono tanti anni, e che annunciava colle parole da noi testè riportate. Difatti la prima frangia oscura che si forma in *s* a fianco della frangia luminosa, riceve di certo la stessa luce che riceve la frangia centrale: e non v'è dubbio che la sua oscurità non sia dovuta al concorso dei due fasci riflessi, poichè si vede divenire meno escura coprendo uno degli specchi, impedendo che riceva da esso della luce.

Fresnel ha determinato colla massima esattezza le lunghezze dei raggi che s'incontrano nel centro di ognuna delle diverse frange, venendo dal punto *f* e dopo essersi riflessi sui due specchi. Infatti la luce che si riflette sopra uno degli specchi può considerarsi come se partisse da *p*, e per l'altro specchio come se partisse da *p'*. È chiaro che per la frangia centrale, che è sempre luminosa, il suo mezzo corrisponde a dei raggi i quali hanno percorse una strada egualmente lunga: e poichè questa frangia ha una luce due volte più intensa della luce che è riflessa da uno specchio solo, ne viene che si raddoppia lo splendore dei raggi luminosi, quando s'incontrano dopo aver percorsi degli spazi eguali. Il centro della prima frangia oscura corrisponde a del raggi che non hanno la stessa lunghezza; la differenza di strada che hanno percorsa è stata trovata da Fresnel di 310 milionesimi di millimetro quando l'esperienza si fa colla luce rossa. Questa differenza è di 212 milionesimi di millimetro per la luce violetta. La frangia luminosa che vien dopo alla prima frangia oscura, corrisponde a dei raggi, di cui la differenza di lunghezza è di 620 milionesimi di millimetri se la luce è rossa, e di 423 se la luce è violetta. Notate che questi due ultimi numeri sono il doppio dei due primi. Viene in seguito la seconda frangia oscura, e per questa la differenza di lunghezza dei raggi che vi s'incontrano nel suo centro è tripla dei due primi numeri, cioè a dire è 3×310 milionesimi di millimetro per la luce rossa e 3×212 per la luce violetta.

Segue una terza frangia luminosa, e per questa la suddetta differenza della lunghezza dei raggi che s'incontrano nel suo mezzo è il doppio dei numeri 620 e 423, che esprimono le differenze corrispondenti alla prima frangia luminosa dopo la centrale. L'esperienze le più esatte, continuate sopra un gran numero di frange, hanno svelata la relazione numerica che v'è secondo i raggi di diverso colore fra le lunghezze dei raggi che s'incontrano e che producono era la frangia oscura, era la luminosa. Questa relazione, risultato semplice dell'esperienza, è conosciuta sotto il nome di *principio delle interferenze*. Chiamisi *d* la lunghezza 620, ossia la differenza di strada che v'è fra i raggi rossi che partono da uno stesso punto e che nell'incontro producono la prima frangia luminosa dopo la centrale: questo numero *d* sarà eguale a 423 per la luce violetta. Ciò ammesso, il principio delle interfe-

renze può annunciarsi in questi termini: due raggi omogenei, che partono da uno stesso punto e che s'incontrano facendo un angolo piccolissimo, aumentano di splendore, si rinforzano, quando la differenza delle strade che hanno percorso prima d'incontrarsi è eguale a 0, a d, a $2d$, a $3d$ ec., oppure, ciò che torna lo stesso, quando questa differenza è eguale a 0, a $\frac{2d}{2}$, a $\frac{4d}{2}$, a $\frac{6d}{2}$ ec.: cioè ad un numero pari della metà di d. Al contrario i due raggi si distruggono, producono dell'oscurità, quando s'incontrano dopo aver percorse delle strade di cui la differenza è eguale a $\frac{d}{2}$, a $\frac{3d}{2}$, a $\frac{5d}{2}$ ec., cioè ad un numero dispari della metà di d.

Eccovi un quadro dei valori trovati da Fresnel coi diversi raggi semplici per il termine d, che esprime la differenza delle strade percorse da due raggi che s'incontrano producendo la prima frangia luminosa dopo la centrale.

Colori principali	*Valore medio di* d *espresso in milionesimi di millimetro.*
Violetto	423
Indaco	449
Bleu	475
Verde.	521
Giallo.	551
Aranciato.	583
Rosso.	620

Avremmo qui finito una rapidissima esposizione dei fenomeni della luce e delle loro leggi, se tutta l'opera nostra si riducesse allo studio dei fatti semplici ed isolati. Nulla di più sterile di questo officio: la scienza non è formata se non quando i fatti sono stati interpretati, e fatti dipendere da un principio che sia il più semplice ed il più generale nello stesso tempo di quanti se ne possano immaginare.

I fenomeni della diffrazione ed il principio delle interferenze, che ho voluto che imparaste per ultimo ci conducono direttamente all'esame della ipotesi che si sono create onde interpretare le proprietà della luce. Due sistemi soli hanno regnato, sin dai primi tempi della Fisica, nella scienza della Luce: uno è il sistema dell'emissione, l'altro quello delle vibrazioni o delle ondulazioni. Nel primo la luce è formata da *molecole luminose* che sono lanciate dai corpi luminosi, e che a guisa di proiettili traversano gli spazi con quella grande velocità che sappiamo esser propria dei raggi solari. I corpi diafani son composti di parti separate fra loro dagl'intervalli che le molecole luminose traversano liberamente, non soffrendo che una specie d'attrazione, da cui dipendono le deviazioni e le decomposizioni che si osservano. Parlandovi degli anelli colorati v'ho detto come Newton intendeva che accadesse la propagazione di un raggio luminoso nel sistema dell'emissione. Lascio ora da parte tutte le strane e le molte ipotesi secondarie che si è costretti a creare nel sistema delle emissioni per adattarsi alla spiegazione dei fatti: basta per noi, perchè debba esser francamente rigettato, l'esservi un fatto ben dimostrato, con cui è inconciliabile, con cui è in manifesta, in necessaria contradizione. Questo fatto è quello delle interferenze. Due molecole che sono animate di una stessa velocità, che sono dirette nello stesso senso, che s'incontrano facendo colle loro direzioni un angolo piccolissimo, non possono mai ridursi in riposo, distruggere nel loro incontro le impulsioni ricevute. Eppure è questo il fatto delle interferenze: è questo che dovrebbe accadere traducendolo col linguaggio del sistema delle emissioni.

Al contrario nel sistema delle ondulazioni, non solo con una mirabile semplicità si spiegano tutti i fenomeni della luce, e non solo veggiamo ogni giorno che a nuove verità si perviene colla sua guida; ma il principio delle interferenze ne risulta necessariamente, ed è anzi una conseguenza del sistema stesso.

Vorrei potermi lungamente estendere nella sua esposizione: vorrei che mi fosse facile di tradurvelo col semplice ragionamento, facendolo scendere dal campo della Fisica matematica a cui si è, come doveva, innalzato.

Si ammette nel sistema delle ondulazioni, che in tutto lo spazio e negl'intervalli delle molecole dei corpi ponderabili esiste un fluido eminentemente elastico, e di parti tenuissime: è questo fluido che chiamasi *etere*. Lo stato d'equilibrio di questo fluido dipende dalla ripulsione che esiste fra le sue parti, e dall'azione che v'è fra queste e le molecole dei corpi solidi. In virtù di queste forze l'etere è sparso nello spazio vuoto, avendo la stessa densità ed elasticità in tutti i sensi: interposto fra le molecole dei corpi solidi, occupando gli spazi vuoti che lasciano fra loro, la sua densità può esser diversa nei vari corpi, e la sua elasticità deve seguire quelle stesse variazioni che prova questa proprietà nei corpi ponderabili. Quindi l'elasticità dell'etere è costante nei gas, nei liquidi, nei solidi omogenei non cristallizzati, come in quelli cristallizzati di cui la forma primitiva è un poliedro regolare:

cessa di esserlo in quei corpi cristallizzati che non hanno questa forma regolare.

I corpi luminosi vibrano come i corpi sonori, e non v'è differenza che nella rapidità immensamente maggiore delle vibrazioni dei primi. Le loro vibrazioni si comunicano all'etere, si propagano in questo fluido, come quelle dei corpi sonori si propagano nell'aria, generano delle onde, che facendo vibrare il nervo ottico producono la sensazione della luce. Secondo che le vibrazioni sono più o meno rapide, le ondulazioni eccitate sono più o meno lunghe: è questa la differenza che cagiona la sensazione dei diversi colori. Il valore medio di d, dedotto dall'esperienza di Fresnel, è la lunghezza dell'onda eterea che costituisce la luce, lunghezza diversa pei raggi di diverso colore.

Queste vibrazioni dei corpi luminosi operandosi come quelle dei corpi sonori, essendo cioè isocrone, le ondulazioni che eccitano nelle molecole dell'etere avranno le proprietà stesse delle onde sonore. Ogni onda luminosa si compone di due metà o mezze onde eguali, nelle quali i movimenti sono in senso contrario, corrispondendo alle fasi diverse con cui s'opera la vibrazione della molecola dal corpo luminoso intorno al suo centro d'equilibrio. Partendo dalla diritta o dalla sinistra del suo centro, oscilla questa molecola come un pendolo; s'avvicina al suo centro con una velocità crescente che giunge al suo massimo in quel punto, e l'oltrepassa andando alla sinistra o alla diritta del centro stesso. Le due fasi della oscillazione si fanno nello stesso senso, e le velocità hanno lo stesso segno; nella oscillazione successiva la molecola ritorna con velocità contrarie sulla strada fatta, e ripassa per le posizioni di prima cogli stessi gradi d'intensità. Quindi le vibrazioni eccitate nel vuoto o in quei corpi omogenei nei quali l'elasticità è la stessa in tutti i sensi, producono delle ondulazioni che si trovano costantemente sopra una superficie sferica nel cui centro è il corpo luminoso: e le direzioni con cui si propagano sono tante linee rette, che chiamiamo raggi luminosi. Le successive vibrazioni generano tante ondulazioni di eguale grandezza e durata, che si propagano successivamente l'una dietro l'altra. La lunghezza di una ondulazione è sempre la distanza che separa sopra uno stesso raggio due molecole d'etere, che sono animate da una stessa velocità di vibrazione e tali, che quella che è più lontana dal centro luminoso sia in ritardo, rispetto all'altra, di una vibrazione od oscillazione completa della molecola del corpo luminoso. L'ondulazione di una molecola d'etere si compone perciò di due metà, per ciascuna delle quali le velocità, benchè passino per gli stessi gradi d'intensità, sono però di segno contrario. La lunghezza dell'onda eterea è dunque misurata dallo spazio che la luce percorre nel tempo che il corpo luminoso compie una vibrazione, ed è quindi eguale alla velocità di propagazione, quando si prenda per unità di tempo quella che impiegano le particelle del corpo luminoso a fare una vibrazione. Da ciò si deduce, che la lunghezza dell'onda è proporzionale alla durata della vibrazione del corpo luminoso: da ciò ancora, che quanto più le vibrazioni fatte nello stesso tempo sono in maggior numero, tanto più corta dev'essere la loro durata: da ciò infine, che il numero delle vibrazioni fatte in un dato tempo da un corpo luminoso, numero che varia secondo il suo colore, sarà tanto più grande quanto più è minore la durata e la lunghezza dell'ondulazione eterea che vi corrisponde.

Stimando a 70,000 leghe di 4000 metri per lega lo spazio che la luce percorre in un secondo di tempo, è facile il dedurre i rapporti che devono passare fra i numeri delle vibrazioni che producono i raggi di un diverso colore, di cui si sa la lunghezza dell'ondulazione eterea. Vi darò qui alcuni numeri, onde veggiate a quali misure siamo giunti: la luce gialla è formata da 564,000 vibrazioni che si fanno in un milionesimo di secondo, la luce rossa da 477,000 vibrazioni, e la violetta da 571,000. Guardatevi bene dal credere questi numeri come risultato di un sistema: secondochè s'adotta o l'un sistema o l'altro, ne viene il nome che si dà a questi periodi, a questi spazi *reali*, che costituiscono la propagazione della luce. Risovvenitevi della tavola trovata da Newton, in cui sono espresse le grossezze delle lamine che danno gli anelli colorati dei diversi ordini. Egli chiama lunghezza di un accesso il 1/4 di ciò che chiamiamo lunghezza dell'ondulazione. Newton ha dedotto la lunghezza degli accessi dal fenomeno degli anelli, Fresnel ha dedotto quella dell'ondulazione dal fatto delle interferenze.

È tempo che vi provi come questo fatto delle interferenze è una necessaria conseguenza del sistema delle ondulazioni. Già si è visto come un movimento vibratorio isocrono genera nell'etere circostante una serie di onde, tutte della stessa lunghezza e composte ognuna di due mezze onde nelle quali i movimenti sono eguali per l'intensità, ma in senso contrario. Due molecole di etere poste sopra uno stesso raggio o sopra due raggi che vengono dalla stessa sorgente, sono animate in ogn'istante da delle velocità di vibrazione che sono eguali e nello stesso senso, allorchè le loro fasi sono le stesse, o

allorquando le loro distanze dalla sorgente differiscono di un'ondulazione, di due, di tre, di un numero intero d'ondulazioni. Immaginate ora che le fasi di queste due molecole vibranti differiscano invece di una mezza ondulazione, o che la loro distanza dalla sorgente differisca di una mezza ondulazione, di tre mezze ondulazioni, di cinque mezze ondulazioni, in una parola, di un numero dispari di mezze ondulazioni, e dovrete ammettere che le due molecole, in tutti i punti, si troveranno animate da delle velocità di senso contrario.

Le due linee delle *Fig.* 47 e 48 esprimono la propagazione di due molecole d'etere in cui le ondulazioni sono d'accordo: le curve eguali che compongono queste linee son formate, come per le ondulazioni sonore, dalla riunione delle ordinate rappresentanti le intensità delle onde luminose negl'istanti infinitamente piccoli in cui si compie una vibrazione. La linea *a c* rappresenta un'onda intera composta di due curve eguali rivolte in senso opposto per esprimere le velocità contrarie ed uguali delle due metà di un'onda. Confrontando invece le linee delle *Fig.* 48 e 49 si trova che in ogni punto, alla fine di ogni ondulazione, le molecole dell'etere dei due raggi sono animate da velocità contrarie, e questo avviene perchè uno dei raggi è in ritardo rispetto all'altro di una mezza ondulazione. È chiaro che avverrebbe lo stesso se il ritardo fosse di un numero dispari qualunque di mezze ondulazioni.

Supponiamo ora che due sistemi di onde o due raggi di una luce omogenea, sieno diretti sopra una stessa molecola d'etere, essendo o paralleli fra loro o facendo un angolo piccolissimo. Se le loro distanze dalla sorgente sono eguali o differiscono di un numero intero di ondulazioni, è certo che l'effetto della loro sovrapposizione o del loro incontro sopra una molecola d'etere sarà quello di aumentare l'intensità della luce, aggiungendosi le loro impulsioni sulla molecola, per esser ambedue egualmente dirette. Se invece i due raggi differiscono di una mezza ondulazione o di un numero dispari qualunque di mezze ondulazioni, è evidente che nella loro sovrapposizione o nel loro incontro colla molecola d'etere non faranno che distruggersi, che estinguer le loro impulsioni, perchè dovute e dei movimenti diretti in senso opposto. Questa conseguenza del sistema delle ondulazioni è chiaramente provata dal fatto di Fresnel, e da tutti quelli in cui si sono viste le frange sparire quando s'impediva ad uno dei raggi di giungere sopra l'altro.

S'intende ora facilmente perchè, onde produrre le interferenze, sia necessario che i raggi partano da una sorgente comune, che questa sorgente sia ridotta ad uno spazio il più piccolo possibile, e che la luce sia omogenea. È certo che ogni punto della sorgente da cui partono i due sistemi di onde che vanno ad incontrarsi, produce una serie speciale di frange che non potranno esattamente sovrapporsi, ed il fenomeno sarà perciò tanto meno distinto quanto più sarà grande il numero di questi punti. Se la sorgente non è unica, è troppo difficile, e quasi impossibile, che i movimenti vibratori si conservino isocroni, e che non ne succedano per conseguenza delle perturbazioni molto irregolari. Quando la sorgente è unica i due sistemi di onde che ne partono soffrono nello stesso tempo ed egualmente le perturbazioni che vi accadono, e gli effetti non ne differiscono. Allorchè la luce non è omogenea, essendo varia la lunghezza delle onde che s'incontrano, non accade mai che negli stessi punti vi sia, per le varie luci, l'accordo, o l'opposizione. Interpretiamo ora il fatto d'Arago. Quando uno dei sistemi di onde o dei raggi che vanno ad incontrarsi, ed a produrre il fenomeno delle interferenze, traversa prima una lamina trasparente molto sottile, si vede il gruppo delle frange spostato. La frangia centrale, avvicinandosi verso quel raggio che ha traversata la lamina, non può più corrispondere a raggi che hanno percorso delle strade eguali; ma poichè questa frangia luminosa centrale deve essere sempre prodotta dal concorso di due raggi che hanno impiegato lo stesso tempo per venire dalla sorgente al punto del loro incontro, è forza ammettere, dal senso in cui si è operato lo spostamento di questa frangia, che la luce è stata ritardata nel suo passaggio per la lamina; che essa vi si propaga con una velocità minore di quelle che ha nell'aria. In una parola, poichè il numero delle ondulazioni deve essere lo stesso pei due raggi che concorrono nella frangia luminosa centrale, la lunghezza dell'ondulazione deve essere più corta in una lamina solida diafana di quello che nell'aria.

Basta la più piccola differenza nella densità o nella natura del mezzo che uno dei raggi deve percorrere prima che incontri l'altro, perchè le frange si spostino. Immaginate che uno dei raggi traversi uno strato d'aria, il quale, per esser tenuto in un tubo chiuso, abbia sempre la stessa densità; contenga tuttora la stessa quantità di vapore: se l'altro raggio con cui produce interferenze si farà passare per l'aria atmosferica, varia di densità e di umidità, è certo che la posizione delle frange che essi produ-

cono non sarà sempre la stessa, e che dal senso e dalla quantità dello spostamento potremo giudicare delle variazioni di densità e di umidità dell'aria.

Non voglio che ignoriate l'ingegnoso e semplice principio su cui si fonda un esperimento che sta tentando Arago, per metter fuori di dubbio che nei mezzi più densi le ondulazioni sono più corte, che la luce vi si propaga più lentamente. Immaginate uno specchio verticale su cui, uno dopo l'altro, cadono per un istante eguale di tempo due raggi luminosi e in due punti posti sulla stessa linea: se questo specchio è animato da un movimento di rotazione, è certo che cadendo il secondo raggio quando lo specchio è già deviato dalla sua posizione le due immagini non compariranno sulla stessa linea, come sarebbe avvenuto stando fermo lo specchio.

Arago ha immaginato di far cadere sopra uno specchio due raggi, uno dei quali ha traversato l'aria e l'altro uno strato d'acqua. Il ritardo che deve soffrire questo secondo, essendo di certo molto piccolo, perchè si renda sensibile lo spostamento delle due immagini per la rotazione dello specchio, bisogna che la velocità di rotazione sia molto grande e che sia comparabile colla differenza di velocità di cui è animata la luce, traversando i due mezzi. Egli calcola che a rendere sensibile la differenza basti una velocità di rotazione di 2000 vibrazioni per secondo, velocità che Breguet figlio ha potuto raggiungere, ed anche superare.

V'è ogni ragione per credere, che il risultato coronerà l'aspettativa di Arago. Questo modo diretto di provare che la velocità della luce è ritardata nei mezzi più refrangenti, sarà una nuova e solenne prova della verità del sistema delle ondulazioni e della falsità di quello dell'emissione in cui è conseguenza necessaria, che la velocità della luce s'accresca nei mezzi più densi.

Posti così i principi fondamentali del sistema delle ondulazioni, cerchiamo di applicarlo alla spiegazione dei fenomeni principali della luce. Cominciamo dalla diffrazione. Young e Fresnel avevano da prima pensato di spiegare la diffrazione, attribuendola alle interferenze dei raggi diretti e dei raggi riflessi degli orli dei diaframmi o delle aperture.

Ma poichè s'è visto che era nulla l'influenza dell'estensione e dell'inclinazione degli orli stessi, che le stesse identiche frange producevano la costa di un rasoio ed il suo taglio, conveniva rigettare questa spiegazione.

Fresnel fondandosi sopra un principio stabilito teoreticamente da Huyghens, e che è una conseguenza del sistema delle ondulazioni, ha potuto render ragione di tutti i fenomeni della diffrazione, e dedurne tutte le leggi. Ecco questo principio: il movimento dell'etere in ognuno dei punti di un'onda luminosa può considerarsi come dovuto alla risultante dei movimenti vibratori che v'imprimerebbero in uno stesso istante tutti i punti della stessa onda considerata in una posizione qualunque anteriore. Infatti ogni punto di un'onda è centro di un movimento vibratorio che tende a propagarsi in tutti i sensi, e in virtù di un principio di meccanica, conosciuto sotto il nome di *principio della sovrapposizione dei piccoli movimenti*, quando delle onde partono da diversi centri di vibrazione il movimento che esse imprimono ad una molecola di etere è eguale alla *risultante* o alla somma di tutti i piccoli movimenti prodotti in questa molecola da ogni centro di vibrazione considerato separatamente.

È dunque giusto di dire che la luce, o il movimento trasmesso direttamente dalla sorgente ad una tal molecola d'etere, è eguale in intensità alla somma dei movimenti diretti sopra questa molecola da tutti i punti dell'onda antecedente. Considerando un'onda primitiva di un'intensità uniforme, è chiaro che in tutti i punti della strada che farà quest'onda, e in tutte le onde simili che sono eccitate, questa uniformità si conserva, purchè sia libera in tutti i sensi la loro propagazione: in questo caso la risultante suddetta è per tutti i punti la stessa. Ma se una porzione dell'onda è impedita dall'interposizione di un corpo opaco, rimane libera l'altra porzione sola dell'onda: la stessa alterazione nella propagazione dell'onda è portata pure da un corpo opaco sottile, nel qual caso l'onda è diminuita di tutta la grossezza del corpo. Così pure accade quando la luce passa per i fori molto stretti, non essendo più l'onda liberamente trasmessa che per uno spazio eguale a quello dell'apertura. In tutti questi casi l'intensità del movimento vibratorio eccitato dalle molecole dell'etere che compongono l'onda in parte arrestata, non può più esser la stessa come se tutta l'onda fosse libera: per avere l'intensità di tutti i punti dell'onda eccitata dall'onda in parte impedita, converrà determinare per ognuno di questi la risultante delle impulsioni eccitate da tutti i punti dell'onda rimasta libera. In questa ricerca basterà di calcolare l'effetto di quei raggi che agiscono poco inclinati alla normale del punto di cui si vuol conoscere l'intensità: per poco che sieno inclinati i raggi che si considerano, la loro azione potrà trascurarsi. Può dunque ridursi il

problema della diffrazione alla ricerca della risultante delle azioni prodotte sopra un punto dato, da quei punti dell'onda che sono presi molto vicini alla normale tirata dal punto stesso alla superficie dell'onda. Quando l'onda si propaga liberamente, tutte le risultanti sono eguali per quei punti situati alla stessa distanza dal punto luminoso, e la luce è uniforme. Escirei troppo dai limiti prefissi di questo Corso se volessi considerare tutti i casi della diffrazione, e mostrarvi come per ognuno di questi sia giunto Fresnel a provare coll'esperienza la verità del principio adottato onde spiegarli. Mi limiterò ad accennarvi, come in un caso sia condotto il ragionamento. Considerate un'onda per metà arrestata da un diafragma opaco indefinito da una parte, ed osservate i diversi punti vicini all'ombra del diafragma in cui si formano le frange. Per i punti molto lontani dall'ombra geometrica, è chiaro che la presenza del diafragma non influisce nel variare i movimenti eccitati dall'onda: i raggi che partirebbero dai punti che il diafragma arresta, agiscono troppo inclinati sui punti lontani dall'ombra. S'intende da ciò perchè le frange della diffrazione non posson mai prodursi che a piccola distanza angolare dagli orli del diafragma e dalla sua ombra geometrica. Imaginiamo di dividere l'onda in tali intervalli, che i raggi che partono dagli estremi di queste divisioni supposte da una parte e dall'altra della normale tirata dal punto che si considera alla superficie dell'onda arrestata, differiscono fra loro di una mezza ondulazione. Se si esprime con **2** l'intensità della luce che riceve il punto in questione, quando l'onda è affatto libera, per la presenza del diafragma questo punto avrà **1**, cioè riceverà la luce di una mezza onda, e più quella di tutti i punti dell'onda che sono compresi fra la normale e l'orlo del corpo. È chiaro che se questo intervallo comprende una sola divisione, e se la posizione del punto considerato è tale che in quest'intervallo il movimento dei suoi diversi raggi elementari sia d'accordo con quello degli elementi corrispondenti della prima divisione presa dall'altra parte della normale, i loro effetti si aggiungeranno. Ma se invece il punto che si considera è tale, che la sua normale all'onda arrestata cada lontana dall'orlo per un intervallo comprendente due divisioni, siccome i raggi che vengono dagli elementi di queste due divisioni differiscono di una mezza ondulazione e quindi i loro movimenti sono in opposizione, la luce che arriverà sopra questo punto sarà minore di quella che giungeva sul punto che abbiamo prima considerato. Seguitando a scegliere la posizione dei punti di là dell'ombra geometrica in modo che l'intervallo compreso fra l'orlo e la normale tirata dal punto considerato alla superficie dell'onda arrestata contenga ora un numero pari, ora un numero dispari di divisioni, la luce che vi giungerà sarà ora minore, ora maggiore. Da ciò le strisce alternativamente illuminate ed oscure. Vedesi bene, come considerando la diffrazione in questo modo, sia essa indipendente dalla grossezza degli orli del diafragma: l'effetto del diafragma si limita a sopprimere una parte dell'onda.

Le frange che si producono nell'interno dell'ombra di un corpo sottile opaco, quelle che si producono da due fessure strette e molto prossime, i fenomeni dei *réseaux*, sono tutti effetti delle interferenze dei raggi che s'incontrano avendo percorse delle strade di diversa lunghezza rispetto alla lunghezza delle ondulazioni della loro luce. Difatti spariscono queste frange, se uno dei raggi è soppresso prima d'incontrarsi coll'altro.

Passiamo a spiegare, nel sistema della ondulazioni, il fenomeno degli anelli colorati di Newton. Invece di ricorrere a nuove proprietà della luce come si è costretti a fare nel sistema delle emissioni per spiegare gli anelli colorati, nel sistema delle ondulazioni si dice che gli anelli visti per riflessione sono il risultato delle interferenze dei raggi riflessi alla prima e alla seconda superficie della lamina sottile diafana qualunque sia, e che gli anelli visti per trasmissione son dovuti alle interferenze dei raggi direttamente trasmessi e dei raggi riflessi due volte sulle facce della lamina prima di esser trasmessi.

Innanzi di mostrare che le conseguenze di questi due principi sono d'accordo coll'esperienza, ricorderò le proprietà meccaniche della propagazione delle onde nei mezzi fluidi. Se il mezzo ha la stessa densità in tutti i punti, il primo movimento vibratorio che è comunicato da una molecola all'altra che la segue, è tale, che lascia la prima in riposo; e se questo continua a vibrare, ciò viene da un secondo movimento vibratorio che succede al primo: seguita in questa guisa la propagazione delle onde. Non è più così se l'onda è costretta a passare da un mezzo di una certa densità ad un altro di densità diversa: vi è riflessione dell'onda alla superficie di separazione dei due mezzi. Se l'onda arriva dal mezzo più denso per passare al meno denso, le molecole del primo conservano, dopo aver messo in vibrazione quelle del secondo, una velocità minore di prima, che è però diretta nello stes-

so senso; l'onda riflessa è in questo caso in continuazione dell'onda incidente. Quando invece il mezzo in cui l'onda propaga la vibrazione è più denso, la velocità di vibrazione che conservano le molecole del primo dopo la loro azione immediata sopra quelle del secondo è opposta, ha cangiato di segno. A rappresentarvi questi modi di propagazione dei moti ondulatori, ricordatevi quello che accade fra due palle perfettamente elastiche, una delle quali è in riposo, e contro la quale va ad urtare l'altra con una certa velocità: secondo che la massa dell'una è eguale, o supera o è minore di quella dell'altra, la palla urtante rimane in riposo, o seguita a muoversi coll'altra o retrocede. Veniamo al fenomeno degli anelli colorati; supponiamo di osservare la luce riflessa sotto l'incidenza perpendicolare alla lamina sottile, e consideriamo uno dei sistemi di onde che giunge sulla prima superficie della lamina d'aria, cioè sulla superficie inferiore del primo vetro. Arrivato alla superficie di separazione fra il vetro e l'aria, esso prova una riflessione parziale, che diminuisce di poco l'intensità della luce trasmessa nella lamina sottile: nasce così un altro sistema di onde nell'interno del vetro superiore, di cui l'intensità è molto inferiore a quella della luce trasmessa. Questa luce trasmessa e di poco indebolita, giunta all'altra superficie della lamina d'aria, cioè alla prima del secondo vetro, produce un secondo sistema di onde riflesse, di cui l'intensità è poco diversa da quella delle onde che sono prodotte dalla prima riflessione. È l'interferenza di questi due sistemi riflessi di onde che produce gli anelli colorati: uno dei sistemi, quello riflesso sulla seconda superficie della lamina d'aria, è in ritardo rispetto al primo di una quantità eguale al doppio della grossezza della lamina d'aria che l'ha traversata due volte prima d'incontrarsi col primo sistema riflesso. Notate ancora, che fra questi due sistemi v'è pure altra differenza grandissima: il primo è stato riflesso al di fuori del vetro inferiore. Questi due sistemi hanno dunque, pei suddetti principii, un'opposizione nei loro movimenti di oscillazione: per cui, allorquando per la differenza delle strade percorse risulterà che saranno d'accordo, e che eseguiranno i loro movimenti nello stesso senso, se ne dovrà conchiudere invece che sono in opposizione compiuta, e che si distruggono reciprocamente; quando risulteranno in opposizione per la differenza delle strade percorse, dedurremo che sono d'accordo e che le loro azioni si aggiungono. Ritornate alle **Fig. 48** a 49 in cui, per esservi fra i due raggi la differenza di mezza ondulazione o di un numero dispari di mezze ondulazioni, v'è opposizione nei movimenti in tutti i punti di coincidenza, cioè alla fine di ogni onda come di ogni mezza onda. Supponete però rovesciate tutte le direzioni delle velocità in ognuna delle parti del sistema di onde che è espresso in una delle figure, e troverete che è ristabilito l'accordo in tutti i punti. Ciò accade nel caso dei due sistemi riflessi sulle superficie della lamina sottile. Veggiamo l'applicazione di queste considerazioni. Nel punto di contatto dei due vetri, dove è nulla la grossezza della lamina, è anche nulla la differenza di strada dei due sistemi riflessi di onde; e poichè essendo nulla, dovrebbe esservi accordo perfetto nelle loro vibrazioni, dedurremo, per l'opposizione loro, che sono in opposizione e che v'è distruzione o oscurità prodotta. Allontanandosi dal centro nero la grossezza della lamina d'aria cresce; fermiamoci quando è eguale al quarto della lunghezza dell'ondulazione della luce omogenea con cui si veggono gli anelli. In questo punto la differenza della strada percorsa dai due sistemi di onde riflesse è il doppio della grossezza della lamina, è eguale cioè, a una mezza ondulazione. Questa differenza, che corrisponde, come sapete pel principio delle interferenze, a un disaccordo perfetto, è nel nostro caso seguita dall'accordo per la solita opposizione del senso delle vibrazioni nei due sistemi. In questo punto vi sarà un anello luminoso. Dove la lamina è grossa come una mezza ondulazione, la differenza delle strade percorse dai due sistemi è di un'ondulazione intera. Vi sarebbe accordo per il principio delle interferenze, il quale si converte, nel nostro caso, in opposizione a cagione dei segni opposti dei movimenti dei due sistemi. Proseguite questo ragionamento, ed intenderete come vi sia formazione di anelli oscuri in tutte quelle grossezze della lamina che sono espresse da zero, da due volte un quarto la lunghezza dell'onda, da quattro, da sei ec. volte il quarto della lunghezza dell'onda. Invece gli anelli illuminati corrispondono a delle grossezze che sono $1/4$, tre volte un quarto, cinque volte ec. un quarto della lunghezza dell'ondulazione. Prendendo dunque per unità della grossezza della lamina $1/4$ della lunghezza dell'onda, ne viene che le grossezze corrispondenti agli anelli oscuri sono rappresentate dai numeri 0, 2, 4, 6 ec. mentre quelle degli anelli luminosi sono 1, 3, 5, 7 ec. È appunto questo il risultato dell'esperienza di Newton. Ora intenderete qual valore ha l'*accesso* nel sistema delle onde, e come sia mirabile l'accordo fra le misure date da Newton degli accessi e quelle delle lunghezze delle onde:

queste ultime risultano dai primi moltiplicati per quattro.

V'è un'esperienza di Airy, che prova chiaramente che è all'interferenza dei raggi riflessi alle due superficie della lamina diafana sottile che si devono gli anelli colorati. Adoperando, per osservare gli anelli, una luce polarizzata che non possa riflettersi ad una delle superficie della lamina, si veggono sparire gli anelli.

La legge trovata da Newton che le grossezze delle lamine diverse che danno un anello dello stesso ordine sono in ragione inversa degl'indici loro di refrazione, ben s'intende nel sistema delle ondulazioni, dopo l'esperienza di Arago. Le ondulazioni s'accorciano in un mezzo più denso, e appunto nel rapporto inverso degl'indici di refrazione.

Quanto agli anelli osservati per trasmissione, questi risultano dall'interferenza dei raggi trasmessi direttamente con quelli che lo sono dopo aver subito due riflessioni consecutive nella lamina sottile.

Le differenze di strada dei raggi che soffrono l'interferenza dopo la trasmissione, sono esattamente le stesse di quelle dei raggi che hanno subita la riflessione; ma siccome per la doppia riflessione viene il senso della velocità del raggio riflesso a non essere più opposto, come lo è per una riflessione sola, ne segue che gli effetti delle interferenze dipendono unicamente dalle differenze di strada dei raggi liberamente trasmessi e di quelli trasmessi dopo due riflessioni. Per conseguenza i colori di questi anelli devono essere complementari, o, per meglio dire, all'anello oscuro visto per riflessione deve corrispondere l'anello luminoso per trasmissione.

Nello stesso modo con cui il sistema delle ondulazioni rende conto dei fenomeni della diffrazione o degli anelli colorati, egualmente si estende agli altri effetti della luce.

Così si trova per delle considerazioni geometriche semplicissime, che i soli raggi riflessi o refratti secondo le leggi trovate coll'esperienza per la riflessione e per la refrazione, non si distruggono per le interferenzo. Il fenomeno della dispersione, che è stato per molto tempo l'unico scoglio del sistema delle ondulazioni, sembra ormai superato dalle ultime ricerche dei Geometri. Pare che l'analisi matematica sia giunta a provare che delle onde di diversa lunghezza non possono propagarsi colla stessa velocità in un dato mezzo, e che questa velocità sia ridotta tanto più piccola, quanto più è piccola la lunghezza dell'onda. Da ciò la formazione dello spettro, ossia che i raggi violetti devono esser più refratti dei rossi.

LEZIONE XCIV.

Doppia refrazione. — Cristalli a un asse e a due assi. — Sezione principale. — Doppia refrazione nei cristalli a due assi. — Legge della doppia refrazione. — Doppia refrazione del vetro compresso.

Stando ai principi del sistema delle ondulazioni si suppone l'etere sparso uniformemente negli spazi vuoti, e quindi dotato della stessa elastirità in tutti i sensi, e di una densità costante. Occupando l'etere gl'interstizi vuoti interposti fra le molecole ponderabili di un corpo o solido, o liquido, o gassoso, la sua densità deve esser diversa da quella che ha in uno spazio vuoto: la sua elasticità dovrà subire per conseguenza delle variazioni corrispondenti a quelle dei corpi ponderabili. Questa elasticità sarà costante in tutti i sensi nei corpi gassosi e nei liquidi. Deve quindi in questi corpi la propagazione dei movimenti vibratori dell'etere farsi con una legge molto semplice, quale è quella della refrazione. Non è più così nei corpi cristallizzati, nei quali certamente l'elasticità è varia secondo le varie direzioni. Trattandosi di solidi omogenei non cristallizzati, o di solidi cristallizzati che risultano dalla giusta posizione di tanti cristalli di cui la forma primitiva è un poliedro regolare, l'etere e la sua forza elastica non possono variare colla direzione, e quindi anche la propagazione dei movimenti vibratori dell'etere deve operarsi con quella stessa semplicità con cui si fa nei gas e nei liquidi.

Quando il corpo cristallizzato ha una forma primitiva diversa da quella d'un poliedro regolare, che l'elasticità del corpo e quella dell'etere devono variare colla direzione, e quindi deve anche variare con esse la propagazione del movimento: questa propagazione non deve più farsi colle leggi tanto semplici con cui avviene la refrazione ordinaria.

E tale conchiusione, alla quale si giunge coi principi del sistema delle ondulazioni, è stata da molto tempo provata dai fenomeni che presenta la luce passando attraverso al carbonato di calce cristallizzato, detto anche *spato d' Islanda*, il quale si

presenta spesso sotto forma di un romboide allungato (*Fig.* 75). Se si guarda attraverso ad un cristallo di spato d'Islanda una linea nera, un punto, o un corpo qualunque, si veggono raddoppiati tutti questi oggetti. Se si presenta uno di quei cristalli ad un fascio di raggi solari che entra in una stanza oscura, escono due raggi che vanno a formare due immagini sopra un diafragma. Le due immagini sono più o meno separate l'una dall'altra; e se si fa girare il romboide nel suo piano sino a che abbia compinta una rivoluzione, le due immagini girano pure ed appariscono nei diversi punti di una intera circonferenza.

È questo il fenomeno scoperto per la prima volta nel 1669 da Bartolino, e chiamato della *doppia refrazione*. Il numero dei corpi che presentano questa proprietà è stato in seguito molto esteso: e può dirsi, in generale, che tutti quei corpi solidi cristallizzati di cui la forma primitiva non è nè un cubo, nè un ottaedro regolare, nè un dodecaedro romboidale, producono la doppia refrazione. Vedremo che anche artificialmente è possibile di render *birefrangenti* dei corpi che naturalmente non lo sono. Osservando con più attenzione i fenomeni che presenta il passaggio di un fascio luminoso attraverso allo spato d'Islanda, si vede che questi differiscono assai da quelli della refrazione semplice. Quando il fascio cade perpendicolarmente alla superficie di una lamina di spato d'Islanda, accade la divisione in due raggi: v'è dunque un raggio deviato e un altro invece che si trasmette in linea retta. Facendo girare la lamina intorno a se stessa senza far variare l'incidenza del fascio, uno dei raggi riman fermo, l'altro si muove, e la sua immagine fa una rivoluzione intorno all'altra. È dunque chiaro che uno dei due raggi che si formano non è soggetto alle leggi della refrazione semplice, e perciò questo raggio dicesi *straordinario*. L'altro, che si chiama *ordinario*, quantunque ubbidisca alle leggi della refrazione semplice, non è però un raggio naturale: vedremo più innanzi quali modificazioni ha subito, quali nuove proprietà ha acquistato passando pei corpi birefrangenti. Adoperando per osservare i due raggi che escono da un cristallo birefrangente, un cannocchiale mobile intorno ad un asse verticale e munito di un circolo graduato, si ottiene facilmente l'angolo di deviazione che fanno fra loro i due raggi. Per lo spato d'Islanda si trova che quando il raggio incidente è normale alla faccia del cristallo, il raggio refratto straordinario è deviato di 6°,12'. Facendo variare l'angolo d'incidenza del fascio luminoso sulla superficie del cristallo birefrangente si trova che la deviazione dei due raggi varia secondo l'incidenza, e varia ancora rispetto a certe linee fisse che si ammettono nel cristallo e che hanno dei rapporti invariabili coi suoi piani di clivaggio, o con delle linee fisse che appartengono alla forma primitiva del cristallo stesso. Per lo spato d'Islanda v'è una linea fissa, detta *asse cristallografico*, che è quella $a\ x$ (*Fig.* 69) che congiunge i due angoli solidi ottusi del romboide. Noi sappiamo già cosa s'intende per forma primitiva di un cristallo; qualunque sia la forma esteriore dello spato d'Islanda può sempre considerarsi come formato da un'infinità di molecole tutte di forma romboidale, riunite parallelamente l'una all'altra. Ognuna di queste molecole ha per conseguenza il suo asse: e quando parliamo del suo asse cristallografico, intendiamo parlare di una linea arbitraria, che ha però una direzione fissa nello spazio, essendo parallela agli assi di tutte le molecole che sono disposte parallelamente l'una presso l'altra.

Questa linea o asse del cristallo birefrangente è dotata di una proprietà singolare rispetto alla luce: un raggio luminoso che traversa un cristallo birefrangente lungo il suo asse, non si divide; il raggio vi si trasmette come in un corpo dotato della refrazione ordinaria. Questo fenomeno si rinviene nei corpi birefrangenti: v'è in tutti una o due linee, secondo le quali la luce è trasmessa senza dividersi. Di qui la divisione in cristalli birefrangenti ad *un asse* o a *due assi ottici*.

Brewster ha trovato per i cristalli che hanno un solo asse, una legge importante e molto semplice: l'asse cristallografico e l'asse ottico coincidono. Onde verificare questa legge, basta di tagliare da un romboide di spato d'Islanda una lamina, di cui le due facce sieno perpendicolari all'asse cristallografico $a\ x$ (*Fig.* 69.): qualunque raggio di luce che cada perpendicolarmente sopra questa lamina, la traversa senza dividersi e senza essere deviato. Se il raggio vi cade inclinato, la divisione ha luogo, giacchè in questo caso non entra più lungo l'asse: s'osserva però che il raggio ordinario e lo straordinario rimangono nello stesso piano, che è quello dell'incidenza. E supponendo di far ruotare il detto piano intorno alla normale, rimanendo costante l'angolo d'incidenza, rimangono pure costanti gli angoli della refrazione ordinaria e straordinaria. Qualsiasi la cagione che determina la divisione di un raggio in un cristallo, conviene ammettere che questa cagione agisce simmetricamente intorno a quella linea, che è stata perciò chiamata asse del cristallo.

In ogni cristallo a un asse vi sono ancora altri piani, lungo i quali introducendosi un raggio, si ottiene la doppia refrazione, senza però che il raggio straordinario esca dal piano dell' incidenza. In questo caso il raggio straordinario riman soggetto alla prima legge della refrazione semplice. Il piano dotato di questa proprietà è quello condotto in un cristallo birefrangente ad un asse per l'asse stesso, e perpendicolarmente ad una faccia qualunque naturale o artificiale del cristallo. Questo piano del cristallo dicesi sezione principale del cristallo: in un romboido di spato d' Islanda la sezione principale d'ogni faccia del cristallo è il piano che divide a metà uno degli angoli ottusi piani. Ogni raggio di cui il piano d' incidenza coincide col prolungamento della sezione principale dà un raggio straordinario, il quale rimane l'ordinario nel piano d' incidenza. Qualunque cristallo di spato d' Islanda a facce parallele serve a verificare questa proprietà; presentatelo ad un raggio di luce che vi cada sopra normalmente, e raccogliete sur un diafragma le due immagini: movendo il cristallo a modo che faccia una rivoluzione intera, si vedrà per due volte l'immagine straordinaria rimanere nel piano del raggio incidente e del raggio ordinario di cui l'immagine resta fissa. Queste due volte avvengono per una mezza rivoluzione, e precisamente quando il piano d'incidenza coincide colla sezione principale della faccia por cui entra la luce.

V'è per ultimo un altro piano in ogni cristallo birefrangente ad un asse solo, in cui la doppia refrazione si opera con una legge particolare. Questo piano dicesi *sezione perpendicolare all' asse*, ed è questo quel piano che si suppone nell' interno del cristallo tirato perpendicolarmente all' asse. Un raggio di luce che abbia per piano d'incidenza questo piano perpendicolare all'asse, si divide in due raggi i quali sono soggetti alle due leggi della refrazione semplice. Il piano d'incidenza e quello del raggio ordinario o dello straordinario sono gli stessi. Il seno d'incidenza e il seno di refrazione straordinaria sono fra loro in rapporto costante, qualunque sia l'obliquità del raggio incidente. V' è dunque un *indice di refrazione straordinaria*. Per alcuni dei cristalli ad un asse, l'indice ordinario supera l'indice straordinario, ed in questo caso i cristalli son detti *negativi*: chiamansi invece cristalli *positivi* quelli per cui l' indice ordinario è più piccolo dello straordinario. Appartengono alla prima classe lo spato d'Islanda, il corindone, lo smeraldo, il rubino ec; spettano alla seconda il quarzo, la boracite, la stannite ec.

Non posso tacervi la legge con cui il genio di Huyghens ha saputo rappresentarsi i fenomeni della doppia refrazione dei cristalli a un asse. Questa legge è espressa riferendosi al sistema delle ondulazioni, in cui ben sapete ammettersi che la velocità di un raggio luminoso diminuisce in un mezzo più denso. In un cristallo a un asse, come nei corpi che non sono doppiamente refrangenti, la *velocità* del raggio refratto è la stessa in tutte le direzioni: per il raggio straordinario la velocità dipende dall'angolo formato fra la direzione del raggio incidente e l'asse del cristallo. Il valore minimo di questa velocità corrisponde al caso del parallelismo del raggio incidente e dell'asse: il valor massimo al caso della perpendicolarità di queste due linee. Nelle posizioni intermedie, la velocità del raggio straordinario prende dei valori medi soggetti alla legge seguente. Si supponga un elissoide di rivoluzione allungata o piatta secondo le circostanze, di cui l'asse di rivoluzione coincida con quello del cristallo e di cui il rapporto fra il raggio polare e il raggio equatoriale sia quello della velocità che ha il fascio che si move parallelamente all'asse, alla velocità del fascio che si move secondo una perpendicolare a questo stesso asse. In tutte le posizioni intermedie il raggio di questa elissoide parallelo al fascio, rappresenta la sua velocità nello stesso rapporto con cui i raggi, polare ed equatoriale, rappresentano le velocità parallele alle loro direzioni rispettive.

Nel sistema delle ondulazioni, la legge di Huyghens si presenta come conseguenza razionale della spiegazione della refrazione applicata al caso nel quale la luce penetra in un mezzo di cui l'elasticità varia da una direzione all'altra.

La dipendenza fra l'elasticità variabile di un mezzo diafano e la proprietà di esser dotato della doppia refrazione, è stabilita evidentemente da molti fatti. Tutti i corpi diafani, nei quali la luce è soggetta alla leggi della refrazione semplice, hanno tutti la stessa elasticità e tenacità in ogni senso: le loro dilatazioni lineari prodotte dal calore sono identiche in tutte le direzioni. Al contrario, nelle sostanze cristallizzate di cui la forma primitiva non è un poliedro regolare e che sono birefrangenti, la dilatazione lineare corrispondente ad una data elevazione di temperatura cangia colla direzione secondo la quale si misura: questo risultato prova evidentemente che nei cristalli birefrangenti l'elasticità varia colla direzione. Ciò è pur provato dai piani di clivaggio che indicano una tenacità disuguale e quindi delle elasticità diverse. Fresnel

ha provato che un mezzo diafano, non dotato della doppia refrazione, lo diviene allorchè si altera la sua elasticità a modo di non esser più, come prima, costante in tutte le direzioni. Per fare quest'esperienza prendeva Fresnel quattro prismi di vetro aventi per base dei triangoli rettangoli isosceli perfettamente eguali: poneva questi prismi l'uno presso l'altro in modo, che tutte le ipotenuse loro posassero sopra una lamina orizzontale d'acciaio. Fra questi quattro prismi egli intrometteva altri tre prismi eguali alla fine dei mezzi prismi in modo, da compiere un parallelepipedo.

Il parallelepipedo così fatto veniva stretto in un quadro d'acciaio disposto in modo da potersi, come in una morsa, stringere le facce opposte. Così facendo l'esperienza, il solido formato dai suddetti prismi diviene analogo allo spato d'Islanda: cessata la compressione, cessa ancora la doppia refrazione. Ognuno di questi prismi essendo compresso nel senso della sua lunghezza, le molecole sono più ravvicinate secondo l'asse, di quello che in una direzione parallela alle basi: l'elasticità viene in questo modo a variare intorno ad ogni punto del solido.

Conchinderemo da questo fatto, che il ravvicinamento in una particolare direzione delle molecole di un mezzo diafano omogeneo altera non solo l'elasticità della materia, ma anche quella dell'etere che è compreso fra le molecole e che trasmette la luce colle sue vibrazioni.

Parliamo infine della doppia refraziona nei cristalli a due assi. Io questi vi sono due direzioni, in cui entrando un raggio di luce non si divide. Gli assi ottici in questi cristalli non posson essere distinti per mezzo dell'assa cristallografico: conviene determinarli coll'esperienza per un punto qualunque del cristallo. Le due linee condotte per ogni punto parallelamente ai due assi già determinati, sono i due assi dal punto che si considera.

In questi cristalli i due raggi che emergono non sono più soggetti alle leggi della refrazione semplice. Fresnel lo ha dimostrato coll'esperienza e coll'analisi. Tuttavia vi sono due sezioni in questi cristalli, per le quali è assai semplice il fenomeno della doppia refrazione.

La prima seziune è quella fatta dal piano perpendicolare alla linea *intermedia*, cha divide a metà l'angolo che fanno fra loro i due assi. In questa sezione il raggio incidente dà uno dei raggi refratti, che riman soggetto alle leggi generali della refraziona semplice.

La seconda seziona in cui l'altro dei due raggi refratti riman soggetto alle leggi della refrazione semplice, è formata dal piano perpendicolare alla sezione precedente. Queste sezioni dividono in due parti eguali gli angoli che fanno fra loro i due assi.

Fuori di queste due posizioni, i due raggi che emergono dai cristalli a due assi non obbediscono alle leggi della refrazione semplice. Tenendo una lamina di mica o d'un altro cristallo qualunque a due assi d'innanzi all'occhio e giraudola intorno a se stessa, si veggono girare amendue le immagini d'ogni oggetto osservato.

È curioso il fenomeno che presenta la tormalina. Questo corpo ridotto in lastre molto sottili, e un cristallo birafrangente a un asse: quando la lamina è grossa, produce la refraziona semplice.

LEZIONI XCV e XCVI.

Polarizzazione della luce. — Polarizzazione per riflessione e per refrazione. — Proprietà della tormalina. — Colorazione della luce polarizzata. — Polarizzazione circolare. — Facoltà rotatorie dei liquidi e dei vapori.

Sin qui abbiamo visto che un fascio di raggi luminosi conserva sempre le stesse proprietà intorno al suo asse: presentando obbliquamente una superficie piana ad un raggio di luce, e facendo girare questa superficie intorno all'asse del raggio in modo che vi rimanga egualmente inclinato, la quantità di luce che è riflessa è la medesima in tutte le posizioni. Lo stesso deve dirsi della refrazione semplice. Non è però in tutte le circostanze che un raggio di luce si conserva indipendente nelle sue proprietà secondo le varie posizioni del suo asse: i fenomeni della doppia refrazione, di cui vi ho dato un cenno nella lezione precedente hanno messo Malus in grado di fare una delle più grandi scoperte della Fisica moderna: è quella della *polarizzazione* della luce. Le proprietà della luce polarizzata son tanto diverse da quelle della luce naturale, che è impossibile di confondere un raggio *polarizzato* con un raggio *naturale* che viene direttamente da una sorgente: queste proprietà si mostrano intimamente legate colla costituzione interna dei corpi, colla disposizione relativa dei loro atomi, e giun-

gono, in molti casi a svelarci la loro intima struttura.

Vorrei potermi lungamente trattenere su questo soggetto, tanto mi sembra importante considerato sotto molti aspetti: ma dovrò limitarmi a dirvi dei vari modi coi quali si giunge a polarizzare la luce, e delle proprietà principali della luce polarizzata. La luce naturale diviene polarizzata colla semplice riflessione fatta sotto un certo angolo, che è vario pei diversi corpi; refrangendosi semplicemente in certe particolari condizioni trovasi pure polarizzata; lo è in fine quando attraversa i cristalli birefrangenti. In qualunque di questi modi siasi la luce polarizzata, ha acquistato due nuove proprietà, quella cioè di non più riflettersi sopra una seconda superficie sotto un determinato angolo d'incidenza, e quella di non più dividersi in due raggi egualmente intensi allorchè attraversa un cristallo dotato della doppia refrazione.

Sono queste le due proprietà principali che appartengono alla luce polarizzata, e che è assai facile di dimostrare coll'esperienza. L'apparecchio della *Fig.* 70 può servire a rendere la luce polarizzata, ed a scoprirne le sue proprietà. Questo apparecchio consiste in tubo *n d u* di rame, internamente verniciato di nero, e simile a quello di un cannocchiale, *g* è uno specchio di vetro nero o annerito alla superficie inferiore, il quale è mobile intorno ad un asse perpendicolare all'asse del tubo. Questo specchio può prendere tutte le inclinazioni possibili rispetto all'asse del tubo, e queste inclinazioni possono facilmente misurarsi sopra dei quadranti graduati che vi sono uniti, e su cui scorre un indice fisso sull'asse dello specchio e piantato parallelo allo specchio medesimo.

Lo specchio è unito ad un tamburo *d* che entra ad attrito nel tubo: per questa disposizione lo specchio può farsi rotare conservando sempre la stessa inclinazione rispetto all'asse del tubo. Le rotazioni dello specchio possono esser misurate sopra un circolo graduato che è inciso sul tubo, sul quale corre un indice unito al tamburo dello specchio. V'è in *b* un diaframma che ha un piccol foro nel centro per lasciar entrare i soli raggi paralleli; *p* è un tamburo simile a quello dello specchio che s'innesta nel tubo, il quale porta un prisma birefrangente: *r* è un simile tamburo che vi si sostituisce, e in cui si trova una lamina di tormalina: *s* è una pila di lamine di vetro.

Per ottenere la luce polarizzata colla riflessione e scoprire la proprietà che ha acquistata di non riflettersi in certe circostanze, si hanno due specchi simili al *g* già descritto, i quali si fissano alle due estremità del tubo.

Si dispone uno degli specchi in modo, che faccia coll'asse del tubo un angolo di 35°,5': sotto quest'angolo la luce è riflessa dal vetro polarizzata. Facendo cadere sullo specchio un raggio solare in modo che si rifletta luogo l'asse e quindi coll'angolo suddetto, tutto il raggio riflesso è polarizzato: qualunque sia la sorgente della luce che si fa cadere sullo specchio è sempre riflessa polarizzata. Coi raggi solari i fenomeni sono più distinti.

Si chiama *piano di polarizzazione* quello in cui viene riflesso il raggio polarizzato per riflessione. S'applica l'altro specchio all'altra estremità, inclinato esso pure sull'asse del tubo di 35°,6', e si comincia dall'osservare sopra un diaframma l'immagine del raggio riflesso da questo secondo specchio allorchè esso è messo parallelo al primo. In questo caso i piani di riflessione sul primo e sul secondo specchio coincidono, sono paralleli fra loro. Si fa rotare il tamburo che porta il secondo specchio tenendolo sempre nell'inclinazione stessa di 35°,5' sopra l'asse del tubo o sul raggio incidente. Necessariamente i piani di riflessione sui due specchi cessano di coincidere: fatto un quarto di rivoluzione dal tamburo, i due piani di riflessione sono perpendicolari l'uno all'altro. Si vede, a misura che questo quarto di rivoluzione si compie, l'immagine riflessa perdere d'intensità e scomparire affatto compiuto questo quarto: seguitando a girare il tamburo ricompare l'immagine, e torna intensa, come da principio, quando il tamburo ha fatto un mezzo circolo, nel qual punto i piani di riflessione ritornano ad esser paralleli. Continuando ancora a far girare il tamburo, l'immagine riflessa s'indebolisce di nuovo e cessa ai $^3/_4$ della rivoluzione, cioè quando di nuovo i piani di riflessione sono perpendicolari: ritorna infine intensa come prima, rimettendo gli specchi paralleli. Un raggio riflesso da un vetro sotto l'inclinazione di 35°,25' ha perduta la proprietà di riflettersi sopra un vetro simile sotto la stessa incidenza, quando il secondo piano d'incidenza è perpendicolare al primo. Se si fa cangiare l'angolo d'inclinazione del secondo o del primo specchio, le immagini riflesse variano colla stessa legge, se non che non succede mai che esse si estinguano affatto, non venendo più il raggio interamente polarizzato sul primo specchio.

La proprietà di polarizzare la luce sotto una certa incidenza è varia pei diversi corpi: il marmo, le vernici nere, l'obsidiana, posseggono questa proprietà nel maggior grado, mentre i metalli sono i meno atti a polarizzare la luce.

L' angolo d'incidenza sotto cui si fa la polarizzazione della luce, angolo che chiameremo d'ora innanzi l'*angolo di polarizzazione*, varia pei diversi corpi. Devesi a Brewster d' avere scoperta una relazione molto semplice ed importante fra l'indice di refrazione l'angolo di polarizzazione compiuta. Da questa legge può dedursi uno di quei due elementi, quando si conosca l'altro. La legge è questa: sotto l'incidenza, che produca la polarizzazione compiuta, il raggio polarizzato riflesso è perpendicolare al raggio refratto. Partendo dalla espressione dell'indice di refrazione, $n = \frac{\text{Sen.}\, i}{\text{Sen.}\, r}$ e chiamando p l'angolo di polarizzazione contato dalla normale, si ha per la legge di Brewster, $i = p$, $r = 90 - i$ e quindi Sen. $p = n$ Cos. p, da cui Tang. $p = n$. Contando l'angolo di polarizzazione dalla superficie, si avrebbe Tang. $p = \frac{1}{n}$.

Facendo variare la superficie su cui si fa riflettere un raggio polarizzato, perchè l'immagine s'estingua nel caso di perpendicolarità dei due piani di riflessione sui due specchi è necessario che l'incidenza sul secondo specchio sia quella stessa sotto la quale si polarizza. Così per il topazio, che polarizza la luce sotto l'incidenza di 31°, per l'acqua che polarizza sotto l'incidenza di 37°, un raggio polarizzato da una qualunque di queste sostanze, deve cadere, per non più riflettersi, sotto un' incidenza di 35°,25' se il secondo specchio è di vetro, di 37° se è d'acqua, di 31 se è di topazio, ammettendo sempre che i due piani di riflessione sieno perpendicolari fra loro.

Risulta da questi fatti che per riconoscere se un raggio di luce è naturale, o polarizzato interamente o in parte, e per determinare la direzione del piano di polarizzazione, basta di farlo riflettere sopra una superficie di vetro sotto l'incidenza di 35°,25', e di far girare il piano d'incidenza. Se in una certa posizione il raggio riflesso è nullo, il raggio è compiutamente polarizzato, e lo è in un piano perpendicolare al piano d'incidenza: se il raggio riflesso si estingue in parte, ciò vuol dire che è in parte polarizzato ed in un piano perpendicolare a quello dell'incidenza corrispondente al minimo di luce riflessa. Se non v'è alcuna variazione d'intensità di luce, facendo girare lo specchio, il raggio è naturale.

Mettendo, invece del secondo specchio, nel descritto apparecchio il prisma p di spato d'Islanda, e facendovi cader sopra il raggio polarizzato dalla riflessione sul primo specchio, si osserva, facendo compiere una rivoluzione intera al tamburo che porta il prisma, che in quattro posizioni distanti fra loro di un quarto di circolo, il raggio polarizzato traversa il prisma birefrangente *senza dividersi*. Due di queste posizioni si trovano quando la *sezione principale* del prisma è parallela al piano di riflessione o di polarizzazione, e le due altre quando il piano è perpendicolare alla sezione principale. I due raggi refratti, fuori di queste quattro posizioni, hanno una intensità diseguale, anche nel caso d'incidenza normale sullo spato d'Islanda; la intensità dei due raggi refratti è la stessa nelle quattro posizioni intermedie, o, cioè, quando la sezione principale fa un angolo di 45° col piano di polarizzazione.

Studiamo ora la polarizzazione prodotta dalla doppia refrazione. Si disponga l'apparecchio (*Fig.* 70) in modo che un raggio di luce, dopo aver traversato perpendicolarmente un romboide di spato d'Islanda, vada a cadere sopra lo specchio di vetro, facendo al solito l'angolo di 35°,25' colla superficie: è questo il modo che abbiamo imparato onde distinguer se la luce è polarizzata, ed in qual piano lo è. Se la sezione principale del cristallo è parallela al piano di riflessione si scorge un'immagine sola per riflessione, ed è l'immagine del raggio ordinario: se al contrario il piano di riflessione è perpendicolare alla seziona principale, quest'immagine sparisce, e rimane invece visibile l'immagine del raggio straordinario. I due fasci di luce prodotti dalla doppia refrazione sono dunque due fasci di luce polarizzata: il raggio ordinario è polarizzato secondo un piano parallelo alla sezione principale, e l'altro in un piano perpendicolare a questa sezione.

Ricordiamoci ora le proprietà di un raggio polarizzato fatto passare per un cristallo birefrangente, e ci spiegheremo facilmente i curiosi fenomeni che presentano due romboidi di spato d'Islanda sovrapposti. Qualunque sia il corpo birefrangente, a uno o a due assi, questi fenomeni si verificano egualmente. Quando un raggio solare penetra in un cristallo birefrangente a facce parallele, i due raggi refratti hanno la stessa intensità. Facendo cadere sopra un secondo cristallo simile i due raggi, ciascuno di questi vi si divide di nuovo in due. Sono così quattro i raggi che escono dal secondo cristallo, i quali però hanno, in generale, un'intensità diversa. Facendo girare il secondo cristallo, lasciando fisso il primo, si trovano quattro posizioni rettangolari fra loro nelle quali due soli raggi si scorgono: queste quattro posizioni corrispondono al caso delle due sezioni principali dei cristal-

li, che due volte sono parallele fra loro a due altre volte perpendicolari fra loro.

Si può fare questa stessa osservaziona guardando coi due romboidi sovrapposti un oggetto esterno, e facendo girare il secondo cristallo. Quando le sezioni dei due cristalli fanno fra loro un angolo di 45o, ognuno dei raggi o delle immagini, l'ordinaria e la straordinaria, che sono prodotte dal primo cristallo, ne danno due altre che sono egualmente intense. In tutte le altri posizioni le immagini hanno delle intensità disegnali:se la sezioni principali sono parallele, il raggio straordinario prodotto dal raggio ordinario del primo cristallo scompare, e sussista l'ordinario: quando le sezioni sono perpendicolari accade il contrario, giacchè è l'ordinario che sparisce o lo straordinario che sussiste. L'altro fascio, lo straordinario prodotto dal primo cristallo, si divide esso pure in due raggi che traversando il secondo cristallo presentano degli effetti opposti a quelli dei due raggi prodotti dall'ordinario. Non può essere diversamenta, da che sappiamo che i due raggi dovuti alla doppia refraziona sono polarizzati in dua piani perpendicolari fra loro. L'immagine o il raggio ordinario del fascio straordinario del primo cristallo, sparisce quando le sezioni principali sono parallele, e si vede la sola immagine straordinaria: quando le sezioni principali sono perpendicolari, si dilegua l'immagine straordinaria ed è invece al suo massimo l'ordinaria.

In una parola; ognuno dei due fasci di luce prodotti dalla doppia refrazione entrando nel secondo cristallo si divida in altri due che hanno un'eguale intensità quando le sezioni principali fanno un angolo di 45° fra loro, e non prova che un solo modo di refrazione quando la sezioni sono o parallele o perpendicolari fra loro.

Anche la semplice refrazione polarizza la luce. Malus ha scoperto che un fascio di raggi che cade sopra una lamina di vetro a facce parallele sotto l'angolo di polarizzazione, si divide in due: una parte è riflessa, e l'altra che traversa la lamina soffrendovi la refrazione, si trova parzialmente polarizzata in un piano perpendicolare al piano di riflessione. Se in fatti si guarda il raggio emergente con un romboide di spato d'Islanda, si trova che le due immaggini sono disegualmente intense e che l'immagine ordinaria è al suo minimo allorchè la sezione principale del cristallo è parallela al piano di riflessione, nel qual caso è l'immagine straordinaria che ha il massimo d'intensità. Accade il contrario quando la sezione principale è perpendicolare al piano di riflessione. Può anche provarsi la polarizzazione parziala della luce refratta in un piano perpendicolare al piano d'incidenza facendola cadere sopra uno specchio di vetro sotto l'angolo di polarizzaziona: se si fa girare lo specchio senza cangiar l'angolo d'incidenza, si trova che il raggio riflesso ha un minimo di luce allorchè il suo piano di riflessione è parallelo al primo, ed ha un massimo quando gli è perpendicolare.

Arago ha trovato che la porzione di luce polarizzata del raggio refratto aveva sempre la stessa intensità della luce polarizzata che si trova nel raggio riflesso: ne viene cha per effetto dell'incontro da un raggio di una lamina cha lo riflette e lo refrange, una porziona di luce si polarizza, e cha questa porzione si divide in dua cha sono eguali e polarizzate in due piani perpendicolari fra loro. Da questo effetto della refrazione nella polarizzazione della luce si è tratto un modo semplice onde ottenere un fascio di luce compiutamente polarizzata. Si usa, a questo fine, una pila di lamina di vetro parallela fra loro, le quali si presentano sotto l'angolo di polarizzazione ad un fascio di luca naturale. Questa pila vedesi in *s* nella *Fig.*70: è contenuta in un tamburo simile a quello dello spato d'Islanda, e può innestarsi sul tubo dell'apparecchio di polarizzazione.

Il fascio di luce che entra nella prima lamina si riflette in parte: l'altra parte si refrange, e rimane polarizzata in un piano perpendicolare a quello d'incidenza in cui si polarizza la luce riflessa. Oltre la porzione di luce polarizzata che si refrange, ve n'è un' altra che si refrange, senza polarizzarsi. Questa entra nella seconda lamina, si riflette e si refrange, e così si polarizza come la refratta dalla prima lamina. A misura che cresca il numero delle lamine che il fascio traversa, va diminuendo la porzione di luce refratta che non è polarizrata. Si vede infatti che facendo cadere sotto l'angolo di polarizzazione, sopra una pila di varie lamine di vetro, un fascio di luce, la porzione di questo che emerge refratta, trovasi polarizzata in un piano perpendicolare al piano d'incidenza. Si spiega perciò assai bene, coma una pila di un certo numero di lamine che si presenta ad un fascio polarizzato sotto l'angolo di polarizzazione, lo lascia passare con tutta la sua intensità, godendo così di una grande trasparenza allorchè il piano d'incidenza è perpendicolare al piano di polarizzazione del fascio incidente. Invece la pila è un mezzo opaco, non trasmette più il raggio, se il piano di polarizzaziona e quello d'incidenza sono paralleli.

Queste proprietà della pila fatta colle lamine parallela di polarizzare compiutamente un fascio di luce, si verifica qualunque

sia l'incidenza del fascio, e non è necessario che questa sia eguale all'angolo di polarizzazione della sostanza delle lamine : sotto qualunque incidenza v'è sempre una porzione di luce refratta polarizzata, se non che è necessario di adoperare un maggior numero di lamine perchè il fascio refratto sia interamente polarizzato.

Il fenomeno della polarizzazione compinta per refrazione e quello dell'assorbimento della luce polarizzata dalla pila secondo il piano d'incidenza, si osservano in alcuni cristalli naturali, che perciò si suppongono formati di tante lamine sovrapposte a poco aderenti fra loro. La luce che emerge da questi cristalli è totalmente polarizzata in un piano perpendicolare al piano d'incidenza: per cui se la sostanza che ha questa proprietà è dotata della doppia refrazione ed è adoperata in lamine di una certa grossezza, essa non dà che un raggio emergente, quello refratto straordinariamente. È appunto questo il caso della tormalina: guardando un oggetto piccolo attraverso ad un prisma di tormalina, di cui gli spigoli sono paralleli all'assa di doppia refrazione, l'occhio posto presso l'angolo del prisma vede due immagini, mentre ne distingue una sola, che è la straordinaria, quando si abbassa verso la base del prisma, e vede l'oggetto attraverso ad una maggior grossezza di tormalina.

Una lamina di tormalina di una certa grossezza ha dunque la proprietà di assorbire i raggi che sono polarizzati in un piano parallelo alla sezione principale della tormalina stessa. La grossezza necessaria perchè l'assorbimento sia compiuto, è varia secondo la natura delle tormaline: per quelle di un color bruno, la grossezza necessaria è meno di un millimetro, ed è assai più per quelle che hanno una tinta azzurrognola, o che son poco colorate. Anche le lamine di mica di due o tre millimetri di grossezza, offrono la proprietà stessa della tormalina quando il fascio di luce che le traversa è inclinato.

Da questa proprietà della tormalina si è tratto un metodo assai semplice per scoprire se un raggio di luce è polarizzato, ed in qual piano lo è. Consiste questo metodo nell'avere una lamina di tormalina sufficientemente grossa, tagliata parallelamente all'asse e montata in piccolo disco metallico con cui può farsi girare. Guardando attraverso a questa lamina, se il raggio è compiutamente polarizzato rimane estinto quando la sezione principale della lamina è parallela al piano di polarizzazione. Se il raggio non è che in parte polarizzato, non si veggono, facendo girare la tormalina, che degli accrescimenti o degl' indebolimenti nell'intensità del raggio stesso.

Con questo semplicissimo apparecchio Arago ha scoperto che la luce che viene dalla luna è in molta parte polarizzata, che la luce bleu del cielo è pure parzialmente polarizzata, e che lo è nel massimo grado quando si trova a una distanza angolare dal sole eguale a 90°. Egli ha pure consigliato ai marinari un'ingegnosa applicazione di questa proprietà della tormalina. Stando ad una certa distanza dagli scogli sommersi, benchè lo strato d'acqua che li ricopre non sia molto alto e l'acqua sia trasparente, divengono invisibili, per la molta luce che si riflette nell'interno dell' acqua e per quella che da tutte le parti dell'orizzonte viene a riflettersi sull'acqua. Questi raggi riflessi sopra l'acqua sono polarizzati nel piano d'incidenza: quindi ricevendo la luce attraverso ad una lamina di tormalina di cui la sezione principale sia parallela al piano d'incidenza, tutti i raggi riflessi vengono assorbiti, e quelli che partono dallo scoglio sommerso sono invece trasmessi.

Non posso abbandonare il soggetto della polarizzazione della luce lasciandovi ignorare affatto il tanto curioso fenomeno scoperto dallo stesso Arago, della colorazione della luce polarizzata che attraversa, in certe condizioni, una lamina di una sostanza birefrangente tagliata parallelamente all'asse. Onde osservare questi fenomeni, v'è un mezzo molto semplice e facile. D'innanzi ad una finestra aperta, siano disposte sopra una tavola orizzontale dieci o dodici lastre di vetro l'una sopra l'altra. Si prenda una lamina di tormalina e si guardi il raggio riflesso dalle lastre di vetro, mettendosi in modo da ricevere la luce riflessa sotto quell'angolo, che può giudicarsi più vicino a quello della polarizzazione. Quando la lamina di tormalina, tenuta col suo asse verticale, si presenta normalmente al raggio riflesso, questo si estingue: così opera la tormalina allorchè il piano di polarizzazione della luce che vi cada sopra è parallelo all'asse della tormalina stessa. Se mentre si tiene la tormalina d innanzi all'occhio a modo di non veder le lamine di vetro, s'interpone fra le lamine e la tormalina una sottile laminetta di mica, all'istante si vede ricomparire la superficie riflettente. Inclinando la mica sotto diversi angoli e facendola rotare nel suo proprio piano, si vede allora brillare coi più vivi colori, di cui le tinte passano dal rosso il più carico, al verde e al bleu per i più piccoli cangiamenti di posizione della lamina di mica. Anche coll'apparecchio della *Fig.* 70, o con due tormaline montate all'estremità delle branche di

una specie di pinzetta (*Fig*. 72) e mobili nel loro piano, è possibile di osservare i colori che produce la luce polarizzata traversando delle lamine birefrangenti sottili. Se i piani d'incidenza del raggio sopra i due specchi (*Fig*. 70) sono perpendicolari fra loro, il raggio non è riflesso sul secondo: interponendo una lamina sottile di mica, il raggio passa quando la sua sezione principale non è nè parallela, nè perpendicolare al piano primitivo di polarizzazione; e questo perchè la luce che ha traversata la lamina si compone di due fasci polarizzati, l'uno nella sezione principale e l'altro in un piano perpendicolare. Prendendo la lamina abbastanza sottile, il raggio comparisce colorato, ed il colore che prende varia secondo la sua grossezza, secondo le posizioni relative della sezione principale della lamina e dei due piani di riflessione. I fenomeni sono anche più curiosi allorchè con un grosso prisma di spato d'Islanda si guarda la luce polarizzata che ha traversato la lamina sottile birefrangente. Queste osservazioni possono farsi coll'apparecchio delineato nella *Fig*. 70, mettendo il prisma birefrangente ad un' estremità e la lamina cristallizzata birefrangente in un tamburo mobile. È facile in tal modo di dare alla lamina ed al prisma, e quindi alle loro sezioni principali, tutte le inclinazioni possibili rispetto al piano di polarizzazione, che è quello dell'incidenza sullo specchio. Siano c ed s gli angoli di questa sezione col piano di polarizzazione. Quando i è eguale a 0° o a 90°, le due immagini sono bianche, qualunque sia s: una di esse si distrugge quando $s=0°$ o $s=90°$. Qualunque sia i, dando successivamente ad s tutte le inclinazioni possibili da 0° a 360° si hanno i seguenti risultati: 1.° non v'è alcuna delle due immagini che sparisca; 2.° le due immagini sono bianche per $s=i$ e per $s=i+90°$, cioè quando la sezione principale del prisma è parallela o perpendicolare a quella della lamina sottile: le due immagini hanno però un'intensità tanto più diseguale, quanto più i differisce da 45° o da 135°; 3.° per tutti i valori intermedi di s, le due immagini sono sempre colorate, e le tinte sono complementarie e quindi bianche le porzioni comuni che si sovrappongono; 4.° le intensità delle due immagini colorate sono al massimo precisamente al mezzo degl'intervalli angolari che corrispondono alle immagini bianche.

Studiando le tinte che danno delle lamine della stessa natura, ma diversamente grosse, e modo da ottenere i diversi ordini di uno stesso colore, come il rosso di 1.°, 2.°, 3.° ordine, Biot ha trovato che queste grossezze dovevano essere fra loro nel rapporto che segue la serie dei numeri naturali 1, 2, 3 ec. Di modo che, data la grossezza di una lamina che dà un certo colore, è facile di trovare qual'è la grossezza corrispondente ad un altro colore. Vi sono delle grandi differenze fra le lamine d' un corpo e quelle di un'altro per avere la stessa tinta: così una lamina di calce carbonata deve essere diciotto volte più sottile di una di cristallo di monte onde dare lo stesso colore.

Nei cristalli a due assi la sezione principale passa fra le linee medie che dividono gli angoli dei due assi a metà. Le lamine di mica e di calce solfata sono le più proprie a queste ricerche.

Di tutti i fenomeni di colorazione della luce polarizzata, i più brillanti sono quelli che si osservano frapponendo alle due tormaline dell'apparecchio (*Fig*. 72) una lamina di spato d'Islanda tagliata perpendicolarmente al suo asse, e grossa da 4 a 20 millimetri. Si scorge una serie di anelli concentrici i quali risplendono coi più vivi colori, e che sono tagliati ora da una croce bianca, ora da una croce nera. Allorchè la sezione principale della lamina di tormalina vicina all'occhio è parallela al piano primitivo di polarizzazione, cioè quando le due tormaline sono *incrociate*, allora gli anelli colorati sono tagliati dalla croce nera (*Fig*. 73): se invece le tormaline sono parallele, la croce è bianca, ed i colori sono tutti complementari dei precedenti. Adoperando una luce omogenea, gli anelli e la croce sono neri e del colore della luce adoperata: i diametri degli anelli dello stesso ordine che hanno diversi colori son tanto più grandi, quanto più è maggiore la refrangibilità del raggio adoperato, e perciò crescono dal rosso al violetto. I colori vari che si producono colla luce bianca sono dunque dovuti alla parziale sovrapposizione degli anelli diversamente larghi dei diversi raggi della luce bianca.

Non tutti i cristalli a un asse producono, come lo spato d' Islanda, distintamente il fenomeno che abbiamo descritto: gli anelli in qualche caso sono ellittici, e colle lamine di apofillite essi mancano di tutti i colori, meno il gialloverdastro ed il violetto-rossastro.

Interponendo fra le due tormaline delle lamine di cristalli a due assi, tagliate parallelamente o perpendicolarmente alla linea media, si veggono due sistemi di anelli ellittici con una croce bianca o nera che divide i due sistemi d'anelli. Facendo rotare la lamina, la croce sparisce in alcune posizioni.

Per ben osservare questi fenomeni, l'apparecchio il più conveniente è quello co-

struito ultimamente da Soleil, e col quale si possono anche misurare i diametri degli anelli. Quest'apparecchio (*Fig.* 78) consiste in uno specchio *a*, da cui la luce è riflessa polarizzata e riunita per mezzo della lente *b* sopra la lamina l: due altre lenti *c c d* servono d'oculare; *t* è la tormalina per cui si guarda la lamina. È unito all'apparecchio un micrometro per la misura dei diametri degli anelli e delle larghezze delle frange.

Con tale apparecchio si rende sensibilissima la doppia refrazione che acquistano molti corpi sotto la compressione. Il vetro compresso, curvato, riscaldato, acquista temporariamente la doppia refrazione, e posto nell'apparecchio or ora descritto, sviluppa gli anelli colorati. La tempra del vetro vi produce permanentemente la doppia refrazione.

Voglio dirvi finalmente che Arago sottomettendo alle esperienze di cui v'ho dato un cenno, delle lamine di quarzo tagliate perpendicolarmente all'asse, scoprì che questo corpo avea la singolare proprietà di cangiare il piano di polarizzazione del raggio polarizzato che lo traversa. Qualunque altro cristallo birefrangente, di cui una lastra, tagliata perpendicolarmente all'asse, si presenta ad un fascio di luce polarizzata, non altera il piano primitivo di polarizzazione, ciò che è facile a scorgersi o con un altro specchio, o con un prisma di spato d'Islanda, o con una tormalina. Il quarzo fa deviare il piano di polarizzazione del raggio che lo traversa parallelamente all'asse: vi sono alcuni cristalli di quarzo che lo deviano a diritta, ed altri a sinistra. Osservando con un prisma birefrangente il raggio polarizzato che traversa la lamina di quarzo parallelamente al suo asse, si veggono due immagini colorate con colori complementari: non è così con una lamina di qualunque altro corpo birefrangente, che non lascia vedere che una sola immagine bianca. Studiando questo fenomeno scoperto da Arago, Biot è giunto a dedurne le leggi: Per delle lamine di quarzo tratte dallo stesso cristallo, la deviazione del piano di polarizzazione è proporzionale alla grossezza della lamina. Sia che il cristallo operi la deviazione a diritta o sia che l'operi a sinistra, per una stessa grossezza, la deviazione è eguale. Per i raggi di diverso colore la deviazione cresce colla loro refrangibilità: così con una lamina di quarzo grossa un millimetro, la deviazione del raggio rosso è di 17°,30' e per il raggio violetto è di 44°,5'. Essendo cangiato il piano di polarizzazione della lamina di quarzo, quando si guarda con un prisma birefrangente il raggio polarizzato che lo ha traversato, si veggono apparire due immagini, l'ordinaria e la straordinaria, e queste due immagini compariscono colorate, perchè essendo diversa per ognuno dei raggi colorati la deviazione che soffre il piano di polarizzazione, ognuna delle due immagini deve risultare dalla sovrapposizione della stessa immagine dei diversi colori, i quali dividendosi perciò disegualmente fra loro, danno per necessità le tinte complementarie.

Biot ha trovato che sovrapponendo varie lamine di quarzo, l'effetto era esattamente eguale alla somma degli effetti prodotti da ognuna, se la deviazione è per tutte nello stesso senso, ed eguale alla differenza se operano in senso contrario; di modo che con due lamine eguali e che producono la deviazione in senso inverso, l'effetto è nullo. Se il quarzo è riscaldato, la proprietà di cui parliamo sparisce. È curioso che in uno stesso cristallo si trovano delle lamine che agiscono in senso inverso, o di cui l'azione è nulla.

Devesi a Biot di aver trovato che questa proprietà di deviare il piano di polarizzazione non è unicamente nel quarzo, ma che appartiene ancora ad alcuni corpi liquidi e gasosi. Non è dunque una proprietà dovuta al modo dell'aggregazione delle molecole, ma una proprietà intieramente molecolare. Le applicazioni che Biot ha fatto di questa scoperta sono così importanti, che credo utile di descrivervi con una sufficiente estensione le sue esperienze.

L'apparecchio è assai semplice, e non differisce da quelli descritti che nelle dimensioni.

La luce del cielo si fa cadere sopra un piano esteso di vetro nero, ed il raggio riflesso s'introduce in un lungo tubo metallico, cercando di mettersi nella posizione da averlo polarizzato il più compiutamente che sia possibile. Il fascio riflesso e polarizzato, incontra perpendicolarmente la prima superficie di un prisma birefrangente acromatizzato che è posto al centro di un circolo diviso, portato sopra un alidade mobile. Il piano di questo circolo è perpendicolare alla direzione del raggio riflesso. Facendo rotare l'alidade o a dritta o a sinistra, anche il prisma si muove, e gira così intorno all'asse del raggio riflesso.

La successione delle immagini, ordinaria e straordinaria, che questo movimento sviluppa nelle diverse direzioni in cui si porta l'alidade, fa conoscere lo stato di polarizzazione più o meno compiuto del fascio riflesso. Il senso della sua polarizzazione, che coincide col piano di riflessione è mostrato dalla posizione del prisma in cui vedesi una sola immagine, quella cioè for-

mata dalla refrazione ordinaria. È questo il punto che Biot chiama lo *zero della polarizzazione diretta*. Così disposto l'apparecchio, s'introduce nel tubo, che può essere di metallo e terminato da dischi di vetro o tutto di vetro, un liquido. Se l'immagine straordinaria rimane invisibile, come senza il liquido, ciò significa che, nei limiti almeno delle grossezze tentate, quel liquido manca della proprietà, o *attività molecolare*, di deviare il piano di polarizzazione. Vi sono però dei liquidi, l'olio essenziale di trementina, lo sciroppo ec., che introdotti nel tubo suddetto alterano il piano di polarizzazione e lo trasportano per ognuno dei raggi colorati della luce bianca in un piano diverso da quello in cui lo erano prima. Questa alterazione è immediatamente mostrata dalla comparsa, senza nulla aver cangiato della posizione del prisma, della immagine straordinaria colorata. Adoperando della luce semplice, ciò che si ottiene facendola prima passare per un vetro rosso, l'immagine straordinaria comparisce rossa. Si devia allora il prisma finchè quest' immagine straordinaria torna a scomparire: il giro fatto dall'alidade misura la deviazione che ha subìto il piano di polarizzazione del raggio rosso riflesso. Questa deviazione si trova proporzionale alla grossezza dello strato liquido interposto, e rimane costante quando per mezzo di liquidi inattivi, che vi si mescolano semplicemente, si allontanano le molecole attive fra loro, senza però variarne il numero. È dunque questo l'effetto di una particolare attività delle molecole che è indipendente dal loro modo di aggregazione.

Essendo questi liquidi assai meno attivi del quarzo, onde produrre delle deviazioni sensibili conviene sottoporli all' esperienza prendendone delle grossezze assai grandi. Il tubo non deve mai esser meno lungo di 1 sino a 5 o 6 decimetri. Può adoperarsi questo metodo di Biot per scoprire la presenza dello zucchero nei liquidi.

Devo dirvi infine, che anche i raggi calorifici sono suscettibili di polarizzarsi: facendo passare dei raggi calorifici attraverso a delle lamine di mica, Melloni ha trovato che escivano polarizzati e che avevano così la proprietà di traversare o no le lamine di tormalina, secondo le varie posizioni dell' asse della tormalina rispetto al piano in cui i raggi calorifici erano polarizzati. Anche l'apparecchio delle due tormaline basta a provare la polarizzazione del calore: il calore trasmesso è minore, quando si mettono perpendicolari gli assi delle due tormaline, da paralleli che prima erano.

È questa una nuova analogia fra la luce ed il calorico. Il giorno non è forse molto lontano in cui appariranno, colla scorta dell' esperienza, dei nuovi e più intimi legami fra tutti i fenomeni che abbiamo attribuiti agl'imponderabili. Nulla s' oppone sin qui ad ammettere l'esistenza dell'etere: nulla s'oppone, anzi tutti i fatti conosciuti s' accordano nello stabilire che dei movimenti ondulatori propagati in quest'etere generano i fenomeni luminosi ed i calorifici. Questi movimenti ondulatori possono variare all'infinito, ed infinite per conseguenza esser possono le azioni loro sui nostri sensi, i loro effetti sulle molecole ponderabili e sopra lo stato loro di aggregazione. Chi non vede che i raggi luminosi, i calorifici, le radiazioni chimiche, quelle che eccitano la fosforescenza, entrano tutte distintamente nella luce solare e nelle altre sorgenti calorifiche e luminose? Di certo la Fisica non ha mai posseduto, e con tanto appoggio di fatti, un' idea più feconda di quella dell'etere universale; quest'idea deve oggi esser di guida principale nelle ricerche dei Fisici.

FINE.

INDICE

FENOMENI ELETTRICI

CALORICO

METEOROLOGIA

FENOMENI DELLA LUCE

I
A
P
B
C
F 6
F 8
A
C
C
M
Q
R
D
P
C
M'
Q
P
C
D
H
S
E
F. Sollazzo inc.

F.10
A
B
P
P'
F.21
G
L'
T'
F.29.
I
K
E
H
F
A
B
C
D
N
F.31
F.36
A
C
M

F45
F46
52
F60
F53
F54
F72
F57

F78
F80
F101
F96
F89
F108
F100
F98
F86
F97
A
B
C
D
E
F
O
M
N

F.110.
F.117.
F.114.
F.112.
F.120
F.115.
F.136
F.121.
F.129
F.122
F.127.
F.123.

VI
F.141.
F.144.
F.146.
A
S
P
L
C
E
D
F.149.
F.151.
F.159.
F.152.
M
O
N
P
F.162.
F.171.
F.173.

F 176

F 18?

F 185

F 188

F 19?

F 198

F 202

F 291

VIII.
F2
F7
F8
F12
F10
F13
F16
F20
F23
F24
F25
F26
T. Sella